



Universidad
**Católica de
Valencia**
San Vicente Mártir

Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Grado en Medicina

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA FUNCIÓN CARDIORRESPIRATORIA MEDIANTE CICLOERGOMETRÍA Y ERGOMETRÍA EN TAPIZ EN CORREDORES DE MONTAÑA

Autor: Borja Gallardo Peydro

Tutor: Carlos Barrios Pitarque

Índice

1	<i>Introducción</i>	1
1.1	Correr por montaña	2
1.2	Marco teórico	4
1.2.1	Historia de las carreras de montaña:	4
1.2.2	Tipos de competiciones y condicionantes físicos	7
1.2.3	Condicionantes técnicos y tácticos	10
1.2.4	Factores de rendimiento en las carreras de montaña	12
1.2.5	Análisis ergogénico y datos genéricos de un duatleta	14
2	<i>Justificación del estudio</i>	21
3	<i>Hipótesis</i>	23
4	<i>Objetivos</i>	25
4.1	Principales:	26
4.2	Secundarios:	26
5	<i>Material y Métodos</i>	27
5.1	Diseño del estudio	28
5.2	Participantes	28
5.2.1	Criterios de inclusión:	28
5.2.2	Criterios de exclusión:	29
5.3	Recogida de datos	29
5.3.1	Mediciones antropométricas	29
5.3.2	Pruebas de esfuerzo	32
5.4	Análisis estadístico	35
6	<i>Resultados</i>	36
6.1	Características generales de la muestra y antropometría	37
6.2	Pruebas de tolerancia al esfuerzo máximo	39
6.3	Correlación entre variables antropométricas y parámetros cardiorrespiratorios	53
7	<i>Discusión</i>	55
7.1	VO ₂ Max	57
7.2	VO ₂ en VTI y VT2	59

7.3	Frecuencia cardiaca	60
7.4	Diferencias entre sexos	61
7.5	Limitaciones	62
7.6	Perspectivas de futuro	63
8	Conclusiones.....	64
9	Agradecimientos	66
10	Bibliografía.....	68
11	Póster	74

Objetivos: Evaluar la tolerancia cardiorrespiratoria al esfuerzo máximo en deportistas de duatlón o carreras de montaña mediante dos protocolos diferentes: uno en tapiz rodante y otro en cicloergómetro. Además, comparar los resultados de ambas pruebas para establecer diferencias y determinar cuál de las dos pruebas refleja mejor la condición física de los deportistas. Finalmente, se pretende analizar si la composición corporal, en concreto niveles de adiposidad y densidad mineral ósea, tienen alguna influencia en la respuesta cardiorrespiratoria al esfuerzo máximo.

Material y métodos: Estudio piloto transversal que incluye un total de 10 deportistas no profesionales, 6 hombres y 4 mujeres. La edad media de los participantes fue de $33,3 \pm 8,2$ años, y el IMC medio de $21,3 \pm 2,0$. La composición corporal se determinó mediante un escáner DXA de cuerpo completo (Horizon™ DXA System, Hologic Inc.). Para la prueba de esfuerzo en tapiz, se empleo el protocolo de Bruce escalonado cada tres minutos con pendiente progresiva que rápidamente alcanzaba el 16% desde el tercer escalón, intentando de este modo asemejarse lo máximo posible a la carrera de montaña. En la prueba de cicloergómetro se utilizó un protocolo en rampa empezando con 50 vatios y un incremento de 20 w/minuto.

Resultados: En el estudio de composición corporal, el porcentaje de grasa fue de $21,8 \pm 6$, (hombres: $10,9 \pm 4,3$; mujeres $25,9 \pm 6,9$). Existía una diferencia significativa en la frecuencia cardiaca en máximo esfuerzo ($180,3 \pm 10,9$ en tapiz vs $172,9 \pm 10$ en CE; $p < 0,05$). También existían diferencias estadísticamente significativas en el consumo de oxígeno tanto en el umbral anaeróbico (VT2) ($p < 0,05$) como en esfuerzo máximo ($p < 0,01$). Los consumos de oxígeno fueron siempre superiores en la prueba en tapiz. Los hombres presentaron consumos de oxígeno más elevados en ambos umbrales, pero solo existían diferencias significativas en el máximo esfuerzo ($62,7 \pm 8,9$ en hombres vs $46,9 \pm 3,8$ en mujeres; $p < 0,05$). El volumen espirado máximo, VE Max, fue también superior en hombres que en mujeres ($151,2 \pm 36,0$ vs $96,5 \pm 20,9$; $p < 0,05$). A nivel energético, la prueba con tapiz requirió de mayor número de equivalente metabólicos (METS) que los que demandó la prueba en CE ($16,1 \pm 3$ vs $13,4 \pm 2,1$; $p < 0,01$). El VO₂max y la VEmax se correlacionaron

positivamente en ambas pruebas, cinta y cicloergómetro, con la DMO. El VO₂max y la VEmax se correlacionaron negativamente con el % de grasa total, solo en la prueba en cinta.

Conclusiones: La respuesta cardiorrespiratoria al esfuerzo máximo fue diferente en cada una de las pruebas. Así, La frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno (VO₂ en ml/kg/min) son más altos en la prueba en tapiz, tanto en el umbral anaeróbico como en el máximo esfuerzo. Los requerimientos energéticos, expresados por los equivalentes metabólicos (METS) y el cociente Váticos/kg también resultaron ser mayores en la prueba en cinta. Estas diferencias entre prueba en tapiz y cicloergómetro afectaban a los atletas varones y no a las mujeres. El componente graso y la densidad mineral ósea estaban relacionadas con la respuesta cardiorrespiratoria en términos de consumo de oxígeno y ventilación máxima.

Palabras clave

Palabras clave: Tolerancia cardiorrespiratoria, consumo de oxígeno, volumen expirado, composición corporal, porcentaje de grasa, densidad mineral ósea.

Keywords: Cardiorespiratory tolerance, oxygen up-take, expired volume, body composition, fat percentage, bone mineral density.

Objectives: To evaluate the cardiorespiratory tolerance to maximum exercise in duathlon or mountain racing athletes using two different protocols: treadmill and cycle ergometer. In addition, the results of both tests are intended to be compared establishing differences and determining which of the two tests best reflects the physical condition of athletes. Finally, another objective is to analyze whether body composition, specifically levels of adiposity and bone mineral density, have any influence on the cardiorespiratory response to maximum exercise.

Material and methods: This is a cross-sectional pilot study that includes a total of 10 non-professional athletes, 6 men and 4 women. The mean age of the participants was 33.3 ± 8.2 years, and the mean BMI was 21.3 ± 2.0 . Body composition was determined using a full body DXA scanner (Horizon TM DXA System, Hologic Inc.). For the treadmill test, the Bruce protocol was used, staggered every three minutes with a progressive slope that quickly reached 16% from the third step, thus trying to resemble the mountain race as closely as possible. In the cycle ergometer (CE) test, a ramp protocol was used starting with 50 watts and an increase of 20 w/minute.

Results: In the body composition study, the percentage of fat was 21.8 ± 6 , (men: 10.9 ± 4.3 ; women 25.9 ± 6.9). There was a significant difference in heart rate at maximum exercise (180.3 ± 10.9 in treadmill vs 172.9 ± 10 in CE; $p < 0.05$). There were also statistically significant differences in oxygen consumption both in the anaerobic threshold (VT2) ($p < 0.05$) and in maximal effort ($p < 0.01$). Oxygen up-take was always higher in the treadmill test. Men presented higher oxygen up-take in both thresholds, but there were only significant differences in maximum exercise (62.7 ± 8.9 in men vs 46.9 ± 3.8 in women; $p < 0.05$). The maximum expired volume, VE Max, was also higher in men than in women (151.2 ± 36.0 vs 96.5 ± 20.9 ; $p < 0.05$). At the energy cost level, the treadmill test required a higher number of metabolic equivalents (METS) than those required by the CE test (16.1 ± 3 vs 13.4 ± 2.1 ; $p < 0.01$). VO₂max and VEmax were positively correlated in both tests, treadmill and cycle ergometer, with BMD. VO₂max and VEmax were negatively correlated with % total fat, only in the treadmill test.

Conclusions: The cardiorespiratory response to maximum effort was different in each of the tests. Thus, the heart rate and oxygen up-take (VO_2 in ml / kg / min) are higher in the treadmill test, both at the anaerobic threshold and at maximum exercise. The energy requirements, expressed by the metabolic equivalents (METS) and the Watts/kg ratio were also higher in the treadmill test. These differences between the treadmill test and the cycle ergometer affected male athletes and not female athletes. Fat component and bone mineral density were related to cardiorespiratory response in terms of oxygen up-take and maximum ventilation.

1 Introducción

1.1 Correr por montaña

Las carreras de montaña son una modalidad del atletismo, consistente en trazados agrestes en la medida de las posibilidades del terreno tratando de evitar siempre que el firme esté pavimentado.

El deporte de correr por la montaña es un deporte joven, cuyas primeras carreras de la historia moderna datan del siglo XIX en el pirineo francés; sin duda lo más interesante es el auge que ha experimentado en las últimas dos décadas, este fenómeno no es exclusivo de las carreras de montaña puesto que el atletismo y el running popular también han crecido exponencialmente de una forma similar.

Es interesante observar como este crecimiento se acompaña del nacimiento de otros deportes como el triatlón, pero sin duda lo más interesante es el ambiente cultural en que se han desarrollado en un siglo XXI, donde la creciente preocupación de la OMS por el hábito tabáquico y los hábitos higiénico dietéticos de la población desarrollada, incidiendo especialmente en problemas de salud como la hipercolesterolemia; la obesidad, en especial la infantil; la diabetes tipo 2 o la hipertensión; en global el síndrome metabólico responsable de mayor parte de la patología crónica actual; es que ha surgido una corriente anti paralela preocupada por su bienestar físico.

Es desde ese contexto sociocultural reactivo a la obesidad donde la sociedad especialmente de edades medias 35-45 que preocupándose por su salud, su estética y no menos importante el bienestar psicológico, se han lanzado a practicar deporte, muchas veces sin un conocimiento adecuado de sus capacidades llegando a conseguir un crecimiento físico autodestructivo, como observamos en muchos de pioneros en las carreras de ultra distancia (carreras de distancia superior a 42km y muchas ocasiones llevando al cuerpo al límite).

Dentro de este ambiente de crecimiento de la práctica de deporte, tanto a nivel popular como profesional, nos vamos a centrar en las carreras de montaña principalmente por las exigencias físicas que demandan entre los que las

practican sin centrarnos en a que nivel compiten. Las carreras de montaña discurren por trazados que pueden variar significativamente entre modalidades como expondremos a continuación, los cuales, en muchas ocasiones consisten en salvar desniveles positivos y negativos acusados, en un espacio de tiempo que puede llegar a abarcar incluso días entre los participantes menos veloces y que por ello requiere unas condiciones físicas y de entrenamiento peculiares.

Elegir este deporte, a pesar de su juventud tiene una razón de ser técnica pues es bien conocido que a diferencia de las tendencias del atletismo al que podríamos llamar clásico, superficies pavimentadas, los deportistas que se dedican a competir en montaña muy rara vez fundamentan su entrenamiento en un solo deporte. Algunos bien porque las propias condiciones climatologías de su residencia les impiden dedicarse las cuatro estaciones al mismo deporte y otros por que dada la dureza del mismo se ven obligados a completar su base de entrenamiento a través de otros deportes.

El deporte de correr por montaña, recoge en sus niveles más altos de rendimiento a deportistas procedentes del ciclismo, de la bicicleta de montaña, alpinistas que buscan mejorar su rendimiento entre ellos el Himalayista Carlos Soria uno de los impulsores en este país de este deporte; son también muchos los esquiadores de montaña que aprovechan la época estival para correr por las montañas y mantener su forma física hasta el siguiente invierno, de hecho esta fue la vía de acceso de uno de los nombres que han marcado una época, también conocido por su doble ascenso al Everest en una semana, Kilian Jornet.

En lo que respecta al sector popular o amateur, el grueso procede del movimiento en favor del bienestar físico que comentábamos en párrafos anteriores, senderistas que han descubierto una forma de acceso diferente a la montaña, mucho más ligera y rápida.

Independientemente del rendimiento de los atletas en los que pongamos la tilde, lo que es relevante es que en muy pocas ocasiones se dedican en exclusivo a correr por montaña, es decir, el entrenamiento de un corredor de montaña implica muchas cosas que difieren de correr por montaña, está

demostrado que el trabajo de fuerza mejora la resistencia (1) y que el entrenamiento cruzado es fundamental para generar una buena base aeróbica.

A la hora de planificar un entrenamiento en estos deportistas, principalmente cuando el objetivo del mismo es la búsqueda de rendimiento y el éxito deportivo, éste no puede ser trazado a la ligera. El deportista promedio sustenta su base de entrenamiento entre el ciclismo, el trabajo de fuerza y la carrera a pie, para ello necesita apoyarse en los valores clásicos como son los umbrales respiratorios y el VO_2 máximo, si bien existen otros muchos, como el lactato o la planificación por potencia actualmente en auge en el ciclismo, son éstos los más estudiados, fiables y utilizados en la actualidad por ser fáciles de reproducir y comparar, sin embargo es posible que sean específicos de cada deporte, obligando al deportista a testarse en tantos deportes como practique.

Buscando observar cómo se relacionan estos parámetros en un mismo deportista, también contaremos con la colaboración de triatletas; el triatlón consiste en practicar tres disciplinas: natación, ciclismo y carrera a pie.

El motivo de haber elegido este campo es en parte personal como deportista duatleta: corredor de montaña y ciclista, al que siempre le ha intrigado la diferencia y similitud de valores de rendimiento cardiovascular sencillos como las pulsaciones de trabajo, tanto las máximas y su correlación entre ambos deportes, como las diferencias o similitudes que encontramos entre ambas disciplinas a la hora de entrenar por umbrales. Queremos aportar un poco de luz desde la medicina a este deporte que está en auge, y son muy pocos los estudios que trabajan la correlación de estas variables entre ambos deportes. Esperamos aportar nuestro granito de arena para que se puede entender mejor la fisiología del rendimiento físico en deportes variados.

1.2 Marco teórico

1.2.1 Historia de las carreras de montaña:

Correr por montaña, es una actividad deportiva exigente que combina el senderismo con el atletismo, es decir correr en superficies irregulares, desde el

sendero de la colina de detrás de casa a otros escenarios más extremos con cordilleras, desiertos, volcanes. Generalmente terrenos montañosos en los que se salvan desniveles de ascenso y descenso en muchas ocasiones importantes.

Es un deporte que en las últimas tres décadas se ha hecho muy popular, experimentando un crecimiento del 1000% (2) en el número de carreras organizadas entre 2008 y 2019, dato que refleja la popularidad de este creciente deporte. Los amantes de este deporte destacan la sensación de libertad, la posibilidad de trazar su propio camino y el menor impacto articular que supone correr por superficies no pavimentadas; teniendo en cuenta también que dada la irregularidad del terreno no habrá dos apoyos iguales saliendo de la monotonía del circuito cerrado de la carrera a pie.

Se dice que la actividad de correr es tan antigua que es innata a la historia del hombre (3), asociada generalmente con el hecho de recorrer distancias inmensas en periodos reducidos de tiempo.

Desde el 490ac cuando el ejército persa desembarcó en la ciudad de maratón y los griegos mandaron a Filipides que fuese a Esparta, Filipides, según Robert Browning recorrió durante dos días y medio la increíble distancia de 240km entre Atenas y Esparta, pasando por el monte Partenio 1250m, 240km que tuvo que recorrer de vuelta con malas noticias porque no le habían podido atender ya que estaban de fiesta hasta la próxima luna llena.

En 1982 una misión especial de la Royal Air force Británica trató de rememorar la Azaña aunque solo de ida y desde entonces se realiza una carrera conocida como *Spartatlon* en la que se disputan los mejores ultrafondistas del mundo.

Al otro lado del océano, en el nuevo mundo los aztecas tenían corredores ligeros que se encargaban de repartir las noticias, eran los Painani los cuales a relevos se encargaban de informar a Moctezuma o llevarle fruta y pescado fresco. Este sistema permitió que Moctezuma se enterase de la presencia de Hernán Cortés solo día y medio después de su desembarco a 300km de distancia de su palacio.

Los incas tenían un sistema parecido, formado por funcionarios reconocidos que se llamaban Chaquis, seleccionados desde la infancia por sus condiciones físicas, su función solía ser transmitir mensajes cifrados. Se dice que solo bastaban ocho alboradas para repartir una noticia a lo largo de 1600km, los que separaban quito de cuzco. Este sistema fue empleado por Hernán Cortes dada su eficacia, haciéndose costar en documentos de los chasqueros que reclamaban el impago.

La primera referencia oficial la encontramos en Escocia durante el reinado de Malcom Canmore entre los años 1040 y 1060 con el nombre de fell races, las cuales se siguen celebrando en la actualidad en el entorno de los Highland games en Escocia.

Una de las primeras referencias del trail running americano data de 1904 cuando un grupo de corredores de San Francisco apostaron a ver quién era capaz de recorrer más rápido la distancia que separaba Dipsea Inn hasta el Mount Tamalpais. Lo disfrutaron tanto que organizaron un campeonato de cross country al año siguiente, actualmente recibe el nombre de *Dipsea race* y forma parte, junto con el maratón de Boston de una de las carreras que marcaron el runing americano en años posteriores.

En Europa hay datadas carreras desde el siglo XIX (4) en el pirineo francés; la competencia entre los guías de montaña, por aquellos turistas que buscaban aventura alpina, desató una competencia entre las compañías de guías de Cauterets y Gavarnie con el fin de dejar clara la supremacía por medio de las gestas deportivas.

Idearon una carrera de ascenso y descenso a la cima del Vingemale con un recorrido de 52km y 2360+ por terreno expuesto y glaciar. Se dio la salida el domingo 24 de julio de 1904 en la plaza del ayuntamiento de cauterets. Las tres primeras posiciones se las repartieron tres guías de cauterets de extrema resistencia, cerrando el tercer puesto con un tiempo de 6h 17min.

En 1905 surge el campeonato del Canigou, una carrera que a día de hoy aún sigue viva, con un trazado que no ha sufrido modificaciones desde su origen consistente en 34km con 2134+ de ascenso que toma la salida en el complejo termal de los pirineos orientales. En 1912 surge el trofeo Pagasarri en Bibao, de la mano del club deportivo de Bilbao. La siguiente fue la cursa de muntanya de Sant Llorenç de munt en 1914.

Posteriormente en Guadarrama encontramos una referencia de 1916 firmada por los amigos del campo que organizaron un evento con recorrido *Cercedilla-Siete picos-Cercedillas*, en ese momento las sociedades montaÑeras empezaron a organizar carreras por montaña. Siete años después se fundó *la copa del hierro*, un evento organizado por el club Peñalara, en el cual el trofeo se entregaría al que ganase dos ediciones consecutivas o tres no consecutivas. Este evento se continuó hasta el año 1936 cuando con motivo de la guerra civil tuvo que ser suspendido y no se recuperó hasta 50 años después 1986 con el *cross de las dehesas* organizado por los empleados del banco de España.

En 1988 el club peñalara con motivo de su 75 aniversario organiza el *cross de la cuerda larga* y un año después Carlos Soria, entonces vicepresidente del club, propuso el *cross escalada de la pedriza*, una prueba a realizar por parejas.

A lo largo de la década de los 90, fueron muchas las carreras que empezaron a surgir llegando a 2019 con su máximo exponencial donde cada fin de semana hay múltiples carreras incluso dentro de una misma provincia. Este fenómeno ha retrocedido con motivo de la pandemia por covid-19 haciendo del 2020 un año en que las competiciones deportivas, por las exigencias sanitarias y de distanciamiento social, sean muy difíciles de llevar a cabo.

1.2.2 Tipos de competiciones y condicionantes físicos

Como comentábamos en párrafos anteriores las carreras de montaña son un deporte joven, de creación reciente y crecimiento expansivo muy rápido, es importante hacer unas aclaraciones para comprender como se ha estructurado

la competición a nivel internacional y más importante si cabe, dentro de las distintas disciplinas.

Las carreras de montaña abarcan todas las distancias imaginables, desde carreras de apenas 3 o 4 km con ascensos superiores a los 1000m, las cuales reciben el nombre de kilómetros verticales, pasando por las distancias *classic* (carreras en torno a los 30km), distancia maratón, que es hasta 42 km y por último la modalidad ultra; en sentido estricto un ultra es todo aquello que sobrepase los 42km, pero en esta categoría es habitual encontrar carreras de 100millas, es decir, 160km (5).

Con un perfil tan heterogéneo de competiciones, es fácil imaginarse que no es lo mismo una competición de menos de 40 minutos, que puede ser el tiempo necesario para completar un kilómetro vertical, que las 21h y 19minutos que tardó el corredor que ostenta el record del Ultra Trail del Mont Blanc, una prueba de 170km que se considera la carrera de montaña por excelencia en el ámbito popular; es necesario un abanico de pruebas capaces de medir a los atletas dentro de sus propias disciplinas, aunque sean un mismo deporte.

En 1984 surge: (WMRA) La world Mountain Running Asociation, ésta organización es la pionera de las carreras de montaña de todo el mundo. En 2019 celebro su mundial número 34 en Patagonia con la distancia maratón. Aunque abarca también las otras dos modalidades que hay hasta distancia maratón (kilometro vertical y classic) y además es la única en la que vemos competir a los atletas africanos.

La WMRA fue fundada en 1984 por el italiano Angelo Biasi, la asociación se estrenó en 1985 con su primer mundial en Sudtírol, los primeros vencedores fueron Alfonso Vallicella y Olivia Grüner. Un primer contacto con las competiciones de montaña que empezó a dibujar la proyección de este deporte. Esto ocurrió nada menos que diez años antes del primer mundial de skyrunning (modalidad que comentaremos a continuación) y 30 años antes del primer mundial Ultra de ITRA (internacional trail running asociation).

En 1993 El montañero italiano Marino Giacometti, sus compañeros de escalada y el apoyo de la multinacional Fila crea el deporte de skyrunning, una modalidad de carreras de montaña donde “la tierra y el cielo se encuentran (6). Ante la rápida expansión de este deporte 1995 se fundó como empresa la Federation for Sport at Altitude salvando la necesidad de poner unas normas a un deporte que crecía rápidamente. Actualmente está coordinado por la International Skyrunning Federation, que se encarga de la dirección, regulación y promoción de las actividades y a la cual se adhiere la FEDME, federación española de montaña y escalada, al igual que otras muchas federaciones de distintos países.

En 2004 aparece FEDME en España encargada de organizar las carreras por montaña en España, la cual se adhiere a skyrunning para los campeonatos del mundo de sky running.

En 2005 la RFEA, real federación española de atletismo, incorpora una sección de trail running. En el ámbito de las carreras con distancia superior a maratón el organismo encargado de su gestión es la IAU, asociación internacional de ultrarunners, a la que se une en 2015 ITRA, internacional trail running association, fundada en 2013.

En resumen, las carreras se reparten a nivel nacional, España, entre la FEDME y la RFEA. La FEDME presenta su selección al campeonato del mundo de skyrunning, con modalidades vertical y skyrace, mientras que la RFA presenta su selección al mundial organizado por WMRA, con carreras de 15km y 42km; y, al mundial de ultra organizado por la asociación ITRA-IAU. Este reparto de modalidades parece simplificarse a partir de 2021, en que se unificaran ambos mundiales (WMRA e ITRA) bajo el nombre de: IAAF world mountain and trail running championships.

Es un deporte que no está contemplado actualmente en las olimpiadas y que además de los campeonatos oficiales que destacábamos anteriormente, han surgido circuitos de alto nivel, los cuales simplemente son organizaciones

coorporativas de marcas como por ejemplo UTMB o Golden trail series de Salomon, muy populares entre los aficionados.

1.2.3 Condicionantes técnicos y tácticos

Por lo que respecta a los condicionantes físicos, siendo este un deporte que se desarrolla en todo tipo de terrenos no pavimentados, o como mucho un 20% del recorrido, las carreras de montaña transcurren generalmente por senderos de montaña que incluyen desniveles positivos y negativos, es frecuente que incorporen secciones técnicas de roca suelta, neveros y crestas donde además de una buena condición física son importantes las habilidades del deportista. Tal y como se ha expuesto previamente el abanico de modalidades en las que se compite es muy amplio y el rango de horas que un deportista puede pasar compitiendo también.

La principal diferencia entre las carreras de montaña y las de asfalto o atletismo tradicional, es que las carreras de montaña se caracterizan por un perfil en constante cambio, son una consecución de subidas y bajadas que condicionan cambios más importantes a nivel fisiológico, así como en las respuestas mecánicas.

En esos casos, tienen lugar concentraciones intensas tanto a nivel excéntrico como concéntrico en las unidades musculo tendinosas de los miembros inferiores. Por lo tanto, la modalidad de contracción muscular es específica para cada sección de carrera de montaña (7), predominando las contracciones concéntricas para los tramos de ascenso y las excéntricas en las secciones de descenso, y en consecuencia difieren de la carrera a pie tradicional consistente en ciclos continuos de contracción y estiramiento.

Las diferencias musculares se acentúan cuando entra en juego la inclinación del terreno, en la que los modelos clásicos difieren en la medida que cambiando la pendiente se modifica el centro de gravedad del corredor, modificándose también con los cambios de velocidad la intensidad del braceo inclusive la posibilidad de emplear bastones para correr.

Conociendo que el reclutamiento muscular es distinto, la otra gran diferencia es la duración, si bien es cierto que existen ultra maratones de asfalto son mucho más numerosas las carreras de montaña que superan los 42km, pero principalmente que requieren de muchas horas para completarse su recorrido, es por ello que el cuerpo del deportista debe adaptarse y regularse para que la intensidad a la que realiza la prueba le permita utilizar los sustratos energéticos adecuados como para completarla.

Por tanto, las carreras por montaña se diferencian principalmente por tres factores, las tres "D": distancia, desnivel y dificultad técnica. Podemos comprender fácilmente que no es lo mismo correr por las calles asfaltadas de una ciudad, que, por piedras, ni tampoco tendrá mucho que ver correr con sin desnivel que tener que subir o bajar montañas, por otra parte, no todas las carreras de montaña tienen la misma dificultad.

Con la finalidad de homogeneizar existen clasificaciones en las que no vamos a entrar cuya finalidad es que el deportista se haga una idea de lo que tiene por delante, como por ejemplo ITRA (valorando las tres "D" con algoritmos de GPS (8).

Como hemos comentado en párrafos anteriores, hay múltiples distancias en este deporte, son tan variadas como la preparación necesaria para cada una de las mismas, siendo más específica cuanto mejor rendimiento se espere obtener, sin embargo, es frecuente que la base del entrenamiento esté fundamentada como mínimo en dos deportes.

Otros factores que pueden condicionar estas pruebas son:

- Altura elevada; por encima de los dos mil metros, frecuente en carreras alpinas, en nuestro caso pirenaicas
- Nutrición; en ocasiones es necesario transportar el alimento que se espera consumir en los siguientes kilómetros u horas, así como ajustar la nutrición para pruebas de hasta 24h en las que la alimentación y la hidratación son prácticamente tan importantes como el acondicionamiento físico.

- Peso; muchas pruebas exigen el transporte de material obligatorio, éste puede variar desde medio kilogramo correspondiente a agua, hasta varios kilogramos en función de la prueba y las condiciones a las que se espera que este expuesto el deportista, exigiendo el transporte de material de supervivencia, comunicación, visibilidad o alimento.
- El entrenamiento: tanto el volumen como la calidad.
- Gestión del sueño; principalmente en carreras de >24h, que suponen pasar varias noches despierto y practicando actividad.
- Orientación; por la necesidad de utilizar dispositivos GPS para seguir el trazado o por seguridad

1.2.4 Factores de rendimiento en las carreras de montaña

El rendimiento del corredor de montaña está condicionado por la distancia a la que se enfrente.

En lo que a parámetros de rendimiento se refiere el principal factor pronóstico sigue siendo el VO₂ máximo y las fracciones del mismo condicionando la máxima intensidad sostenible que es capaz de realizar el deportista (9) y determinando los distintos acontecimientos fisiológicos. Los umbrales ventilatorios se corresponden con la manifestación de eventos metabólicos subyacentes. Se están empezando a utilizar otros marcadores de rendimiento interno, pero, sin embargo, el Gold estándar para planificar el entrenamiento del atleta siguen siendo los umbrales ventilatorios. La evidencia sugiere que establecer cargas de entrenamiento adecuándose a las de los puntos en los que ocurren los eventos fisiológicos de cada deportista, permite mejorar el rendimiento y disminuir el riesgo de lesiones retrasando la aparición de la fatiga (10).

Una revisión reciente (10, 11, 12) remarcó el hecho de que un entrenamiento con distribución similar de las intensidades mostraba diferencias en las adaptaciones y la eficacia dependiendo de la fase de competición, la disciplina y el nivel del atleta, es por ello que la individualización y la precisión en

lo que a los umbrales se refiere, confiere precisión, mejores adaptaciones por parte de los deportistas y un rendimiento óptimo.

Descubrimientos recientes apoyan la idea de que un modelo basado en umbrales ventilatorios (VT1 y VT2) podría ser muy efectivo para establecer la intensidad de entrenamiento dado que tiene en cuenta la respuesta fisiológica individual (13), una de las formas más precisas para determinar estos valores es mediante parámetros de intercambio gaseoso obtenidos de una calorimetría indirecta (14).

En VT1, el consumo de VO_2 y la producción de CO_2 aumentan proporcionalmente; esta intensidad es ideal para acumular volumen de entrenamiento a baja intensidad. Entre VT1 y VT2 la producción de ácido láctico resultante de oxidación anaeróbica es capaz de tamponarse por el bicarbonato HCO_3^- . En VT2 la concentración de lactato se dispara debido a que la producción supera la capacidad tamponadora del bicarbonato, en la calorimetría se puede observar como la línea del consumo de oxígeno empieza a reducir su velocidad de crecimiento mientras que la expulsión de CO_2 sigue aumentando, a partir de este punto el sistema va encaminándose al colapso y la acidosis haciendo que sea insostenible para un periodo de tiempo prolongado. En otras palabras, VT2 se corresponde con el valor límite al cual el sistema es capaz de mantener una acidosis metabólica elevada pero estable.

Pero estos valores dependen de la modalidad deportiva en que se realice la calorimetría para obtenerlos, y pueden no ser aplicables al resto de disciplinas. Son numerosos los estudios que muestran diferencias en estos valores cuando se realizan prueba en distintas disciplinas, pero ninguno entra en que sean o no significativas. (15,16 ,17 ,18).

Por otra parte, a medida que aumenta la distancia a la que se someta el corredor de montaña entran en juego otros indicadores de rendimiento como el coste de locomoción (18), es decir la energía necesaria para desplazar el cuerpo, esta es independiente de la velocidad, pero no de la inclinación o de las características del terreno, por lo que podemos decir que no todos los metros

son igual de caros energéticamente, es un parámetro específico de las carreras de montaña que enfoca a la eficiencia del deportista.

Cuando aumenta la duración de la actividad entran otros condicionantes como la deshidratación, la fatiga muscular cambios biomecánicos entre otras consecuencias de la fatiga, inabordables desde este estudio.

1.2.5 Análisis ergogénico y datos genéricos de un duatleta

Vamos a utilizar como modelo de deporte que involucre varias disciplinas, el triatlón, dado que los estudios son más surtidos y recientes, permitiéndonos una aproximación certera al corredor de montaña, que en el fondo es un atleta multideportista.

Con la creciente popularidad del deporte del triatlón, son numerosos los estudios (20) que se han realizado con la intención de caracterizar al triatleta y para identificar cuáles son las variables fisiológicas importantes para tener éxito y rendir en este deporte. Los estudios de los triatletas se han decantado por los siguientes aspectos, en primer lugar, cuales son las características físicas generales, y, en segundo lugar, como es la respuesta metabólica al ejercicio prolongado. (20)

Física y fisiológicamente los triatletas se parecen a otros deportistas de resistencia, compartiendo características con ciclistas de elite, aun así, los valores de VO₂ máximo son muy variables en los mismos teniendo registros desde 45 hasta 85 ml.kg⁻¹m. (20).

Por el momento las bases fisiológicas para el éxito en triatlón no se conocen con claridad, se investigan variables como el VO₂, porcentaje de la frecuencia cardíaca máxima y umbrales ventilatorios entre otros parámetros (20).

1.2.5.1 Valoración del rendimiento

Son muchas las formas de medir el rendimiento y la capacidad física de un deportista. Uno de los primeros estudios fue enviado para publicar en 1955

(21) y fue el laboratorio de *physiological hygiene* de la universidad de Minesota en Mineapolis quienes publicaron un artículo titulado “Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance” en el que comentan que desde la segunda guerra mundial su laboratorio había estado estudiando relaciones entre rendimiento y nutrición o estrés.

En dicho proceso hicieron un esfuerzo que no dependiese excesivamente de la motivación del participante, dado que los ensayos de campo se realizaban hasta la extenuación; que no dependiese excesivamente de las habilidades psicomotrices. En ese ambiente el consumo máximo de oxígeno VO₂ máximo les ofreció la posibilidad de determinar con precisión uno de los factores limitantes en deporte de resistencia caracterizado por un nivel muy alto de gasto energético exento, en cierta medida, de las habilidades y la motivación del sujeto estudiado.

Este estudio demuestra que el VO₂ marca el límite superior del rendimiento combinando la capacidad cardiaca y respiratoria para transportar oxígeno a los tejidos, estableciéndose una relación lineal entre la carga de trabajo a la que se somete y el consumo de oxígeno hasta que se llega al valor máximo.

En ese estudio (21) también se notifica la necesidad de estandarizar los protocolos y las formas de realizar los test, regulando variables como la velocidad, pendiente y duración de la prueba y afirman que haciéndolo de este modo se pueden detectar variaciones muy sutiles en el consumo de oxígeno. Estudios más recientes, han ratificado que la calorimetría indirecta es la prueba Gold estándar para la determinación de los parámetros que condicionan el rendimiento del deportista. Siendo compatibles otros métodos para su determinación, como es el lactato (14).

1.2.5.2 Pruebas de esfuerzo

Una prueba de esfuerzo es un estudio dinámico que tiene la finalidad de valorar la respuesta del corazón cuando se le somete a una carga de trabajo, en función de la salud del paciente pueden llegar a ser de esfuerzo máximo. Este

tipo de estudio valora que todo funcione correctamente, descarta la presencia de alteraciones a nivel cardiovascular que pudieran condicionar la actividad deportiva, ser un riesgo vital o solo manifestarse durante el esfuerzo.

En el transcurso de la prueba de esfuerzo (PE) se somete al paciente a un estrés físico creciente y, con la finalidad de que las medidas realizadas durante la prueba tengan suficiente validez y sean reproducibles, se han diseñado distintos protocolos de esfuerzo que describimos a continuación. El protocolo más empleado es el protocolo de Bruce en tapiz rodante (treadmill), aun así, cada paciente es más propicio para un protocolo determinado en función de su condición física y la finalidad de la prueba, cabe destacar que los más populares son en tapiz y en bicicleta por su fácil reproductibilidad (22).

Es importante individualizar la dureza del protocolo en función de la resistencia del paciente. Si iniciamos la prueba con un esfuerzo excesivo esto puede abocar en un agotamiento prematuro, que impide el cálculo preciso de la capacidad funcional; por el otro lado si se inicia con una intensidad demasiado liviana se prolongara inútilmente la prueba sin alcanzar los objetivos. Es por ello que se aconseja ser flexibles en el manejo de los protocolos, acortando y alargando fases según sea necesario. El momento de terminar la prueba depende de la sintomatología del paciente, la frecuencia cardiaca alcanzada, la presión arterial, el análisis de gases respiratorios o en caso de que el electrocardiograma desaconseje su perpetuación.

Se considera que la PE es máxima cuando se suspende una vez el paciente ha alcanzado la capacidad límite subjetiva de esfuerzo o la FC máxima teórica. ($220 - \text{edad}$). Se considera submáxima cuando se detiene al alcanzar el 85% de la FC máxima teórica. Un cociente respiratorio superior a 1,05 también ratificaría que la prueba ha sido máxima (22).

Por otra parte, una de las finalidades de las pruebas de esfuerzo es valorar la respuesta fisiológica del deportista al estrés que supone la actividad física (22), obteniendo resultados que permiten adecuar la intensidad, carga y duración del

entrenamiento en función de los resultados obtenidos para lograr una mejora del rendimiento deportivo.

En este aspecto la ergometría (prueba de esfuerzo) es útil para hacer una estimación pronóstica del rendimiento. Consiste en desarrollar una actividad física; generalmente, como las que nos ocupan, en tapiz rodante valorando deambulación y carrera a pie, y ciclo ergómetro, sometiendo al sujeto de estudio a una carga de trabajo que le provoque un esfuerzo físico progresivo acorde a la carga.

La duración de la prueba es de aproximadamente unos 12-20 minutos, suspendiéndola cuando los valores ventilatorios indiquen que ha sido máxima. El estado de forma físico cardiorrespiratorio se define como la capacidad del sistema cardiovascular de suministrar y satisfacer las demandas musculares de oxígeno durante el ejercicio físico sostenido (22). El consumo máximo de oxígeno se define como una meseta en los valores de consumo de oxígeno que no aumentan, aunque siga aumentando la carga de trabajo.

Podemos ver que se trata de una prueba destinada médicamente a detectar patología cardíaca durante el esfuerzo, pero, con un enfoque radicalmente distinto, sin perder la perspectiva de detectar patología prevenible potencialmente mortal, las ergometrías forman parte, cuando hablamos de medicina del deporte, de las pruebas de control y el punto de partida para gestionar el entrenamiento de un deportista con el enfoque siempre de conseguir el máximo rendimiento posible.

En concreto, actualmente se emplea la PEAGE (23), prueba de esfuerzo con gases espirados; Cuando hacemos una prueba de esfuerzo máxima bien sea con ciclo ergómetro (CE) o en cinta y controlamos los gases, podemos calcular en todo momento el consumo de oxígeno a través de la tasa de consumo de oxígeno y el cociente respiratorio, calculando de esta forma los umbrales ventilatorios que se destinan a rendimiento (13).

La tasa de consumo de oxígeno valora el volumen de oxígeno que el deportista extrae del aire inspirado por unidad de tiempo, (mlO_2/min) que se puede corregir en función del peso ($\text{mlO}_2/\text{kg}/\text{min}$), en lo que nos respecta utilizamos el VO_2 máximo siendo este el límite superior de la capacidad corporal de utilizar oxígeno en la producción de energía, es por tanto una medida objetiva de la capacidad deportiva, para la obtención del VO_2 máx.

Lo ideal es obtener un valor meseta a partir del cual por mucho que aumente la carga se mantiene el consumo de O_2 , pero como no todos los deportistas toleran esto se toma de referencia el valor pico de consumo de O_2 .

1.2.5.3 Protocolo de Bruce en una Prueba de esfuerzo en tapiz rodante

Actualmente el protocolo de Bruce en tapiz rodante es el más utilizado por proporcionar un ejercicio más fisiológico y ser mejor tolerados. El paciente camina sobre un tapiz rodante que va aumentando progresivamente la velocidad, inclinación o ambas.

El protocolo de Bruce se compone de un estadio de calentamiento seguido de estadios de 3 min de duración en los que se aumenta tanto la velocidad como la inclinación del tapiz. En pacientes con una capacidad de esfuerzo muy limitada se utiliza el protocolo de Bruce modificado, que incluye dos fases de calentamiento de 3 min a 2,5 km/h y pendiente de 0 y 5°, respectivamente.

El protocolo de Bruce tiene el inconveniente de provocar un incremento de carga discontinuo, lo cual dificulta la adaptación del paciente al esfuerzo y puede subestimar su capacidad física.

1.2.5.4 Consumo de oxígeno

El consumo de oxígeno (VO_2) es la cantidad de oxígeno que una persona puede consumir durante la realización de un ejercicio realizado en la prueba se

puede también medir en múltiplos de los requerimientos de oxígeno basales, es decir, en reposo, y su unidad es el MET (equivalente metabólico de oxígeno). Un MET equivale a 3,5 ml de O₂ por kilo de peso y por minuto, que se considera la media de la necesidad de oxígeno en cada persona en condiciones basales.

La tasa de consumo de oxígeno valora el volumen de oxígeno que el deportista extrae del aire inspirado por unidad de tiempo, (mlO₂/min) que se puede corregir en función del peso (mlO₂/kg/min), en lo que nos respecta utilizamos: EL VO₂ MAX siendo éste, el límite superior de la capacidad corporal de utilizar oxígeno en la producción de energía es, por tanto, una medida objetiva de la capacidad deportiva, para la obtención del VO₂ MAX (24).

Lo ideal es obtener un valor meseta a partir del cual por mucho que aumente la carga se mantiene el consumo de O₂, pero como no todos los deportistas toleran esto se toma de referencia el valor pico de consumo de O₂.

El VO₂ se relaciona con la edad (disminuye con la edad), el sexo (menor en mujeres), el entrenamiento físico (lo aumenta), la masa muscular implicada (a mayor más mayor consumo), la herencia (tiene un importante componente genético) y el estado clínico cardiovascular.

1.2.5.5 Parámetros de interés en una prueba de esfuerzo

- Se emplean los criterios internacionales para la evaluación del electrocardiograma en deportistas.
- Parámetros electrocardiográficos: descenso del segmento ST, elevación del segmento ST, arritmias.
- Parámetros metabólicos: trabajo realizado en MET, consumo de O₂, eliminación de CO₂, concentración de lactato.
- Ergometría con medición de parámetros metabólicos proporciona una estimación más precisa de la capacidad funcional del paciente. Se analizan de forma continua durante la prueba parámetros ventilatorios (volumen corriente, frecuencia respiratoria) y las presiones parciales

inspiratorias y espiratorias de O₂ y CO₂. También puede realizarse determinación sanguínea de lactato. Los parámetros estimados más importantes son la captación respiratoria máxima de O₂ y el umbral anaeróbico.

- En condiciones normales la captación de O₂ es un índice indirecto del gasto cardíaco.

2 Justificación del estudio

- Hay pocos trabajos o ninguna (19,24, 25) que valoren las características cardiorrespiratorias de deportista de Ultra-trail, no he encontrado ninguno que se centre en valorar las diferencias o similitudes que existen entre los corredores de montaña que se entrenan con más de un deporte.

- Sin embargo, sí que hay estudios (15, 16, 17, 18) sobre triatletas que anuncian haber encontrado resultados distintitos en los valores de VO2 máximo y VT1, VT2 en función del deporte de procedencia del atleta o su deporte principal, sin incidir en que estas diferencias sean o no significativas.

- El ejercicio que se realiza en este deporte (triatlón, duatlón y carreras de montaña a la hora de entrenar) es mixto: (carrera y bicicleta); por ello, es necesario valorar si la respuesta cardiorrespiratoria al ejercicio varía en estos atletas en función del tipo de prueba (tapiz para la carrera, y CE para la bicicleta) con la que se valora el deportista.

- Por la relevancia que tiene en la planificación del entrenamiento y el rendimiento (11, 12), conocer los valores a los que ocurre la transición anaeróbica y valorar su correspondencia.

- Pretendemos estudiar deportistas que fundamenten su entrenamiento en más de un deporte para valorar si existen diferencias en las características cardiorrespiratorias en función del deporte de procedencia del atleta o su deporte principal, indistintamente de si compiten en modalidad triatlón, duatlón o carreras de montaña.

3 Hipótesis

La respuesta cardiorrespiratoria al esfuerzo máximo en deportistas duatletas que practican más de una modalidad deportiva es diferente dependiendo del tipo de ejercicio que realicen, carrera o ciclismo.

Es probable que la evaluación de la condición física y en concreto de la capacidad cardiorrespiratoria en estos deportistas haya de realizarse combinado dos pruebas de tolerancia máxima diferentes, adaptándolas a la carrera (prueba en tapiz rodante) y al ciclismo (prueba en cicloergómetro).

Nuestra hipótesis es que los valores máximos y submáximos de los distintos parámetros cardiológicos, metabólicos y ventilatorios analizados difieren en ambas pruebas para un mismo deportista. Al tratarse de sujetos entrenados, es probable que los valores en el umbral aeróbico no diferirán entre las pruebas, mientras que si lo harán parámetros en el umbral anaeróbico y en esfuerzo máximo.

4 Objetivos

4.1 Principales:

1. Evaluar la tolerancia cardiorrespiratoria al esfuerzo máximo en deportistas de triatlón o carreras de montaña mediante dos protocolos diferentes: uno en tapiz rodante y otro en cicloergómetro.

2. Comparar los resultados de ambas pruebas para establecer diferencias y determinar cuál de las dos pruebas refleja mejor la condición física de los deportistas.

4.2 Secundarios:

1. Determinar los parámetros cardiológicos (frecuencia cardíaca, presión arterial) metabólicos (consumo de oxígeno máximo, METS) y ventilatorios (ventilación máxima, cociente respiratorio) en los umbrales aeróbico, anaeróbico y en el esfuerzo máximo en deportistas duatletas mediante prueba de esfuerzo máximo en tapiz rodante.

2. Comparar estos mismos valores en atletas masculinos y femeninos.

3. Analizar si la composición corporal, en concreto niveles de adiposidad y densidad mineral ósea, tienen alguna influencia en la respuesta cardiorrespiratoria al esfuerzo máximo.

5 Material y Métodos

5.1 Diseño del estudio

Estudio piloto transversal de la respuesta cardiorrespiratoria al ejercicio durante dos pruebas de esfuerzo máximo, una en tapiz rodante y otra en cicloergómetro con análisis directo de gases.

5.2 Participantes

El estudio se realizó en las instalaciones del *Centro de Alto Rendimiento IMED-UCV* durante el periodo febrero 2020 y marzo 2021. Las pruebas de esfuerzo se realizaron coincidiendo con la pretemporada de los deportistas.

Un total de 10 deportistas no profesionales, 6 hombres y 4 mujeres, fueron incluidos en el estudio, todos corredores de montaña que fundamentaban su preparación en dos deportes, la carrera a pie y la bici, es por ello que los clasificaremos como duatletas.

Los deportistas fueron informados sobre los objetivos y procedimientos, así como los posibles beneficios del estudio. El consentimiento informado por escrito se obtuvo en todos los participantes. El estudio se realizó de acuerdo con la declaración de Helsinki de 1961 (revisada en Edimburgo, 2000) y fue aprobada por el Comité de Ética de investigación de la Universidad Católica de Valencia (número de referencia : UCV/2019-2020/017).

5.2.1 Criterios de inclusión:

- Acular al menos 300h de deporte en el año previo.
- Actividad física equilibrada entre carrera a pie y ciclismo.
- Participar de forma activa en competiciones al menos durante los dos años previos a las pruebas.
- Ser capaz de correr un 10k en menos de 38' para los hombres

5.2.2 Criterios de exclusión:

- Deportistas con lesiones musculo-esqueléticas en los últimos 6 meses que condicionen un deterioro de su condición física y por tanto en su respuesta cardiorrespiratoria al ejercicio máximo.
- Sujetos que estuvieran bajo algún tratamiento médico (betabloqueantes, ansiolíticos, etc.) que afectaran la frecuencia cardíaca o la respuesta metabólica al ejercicio.
- Pcr positiva para SARS-COV2

5.3 Recogida de datos

Una vez comprado que cumplieran los criterios de inclusión y no tenían ningún motivo de exclusión, se les citaba con la mayor cercanía posible entre pruebas para que el estado de forma fuese lo más similar posible. En 2020 se puso un límite de dos semanas entre pruebas; mientras que en 2021, la pandemia mundial por SARS-COV2 obligaba a hacer las pruebas con pcr negativa por lo que se realizaron la misma semana con más de 48h de diferencia.

El primer día se recogían los datos antropométricos y se realizaba la prueba de esfuerzo en tapiz rodante y el segundo en cicloergómetro.

5.3.1 Mediciones antropométricas

Se tomaron medidas antropométricas que comprendían “altura” y “peso” del cuerpo. Por conveniencia se tomaron el primer día que el deportista acudía a realizarse pruebas. La altura fue medida usando un estadiómetro. La masa corporal se midió en una báscula no digital calibrada. El “body mass index” (BMI) fue calculado mediante la fórmula: $BMI = \frac{masa}{(\frac{estatura}{100})^2}$.

Paralelamente se estudió la composición corporal de los atletas, la cual fue medida usando un escáner DXA de cuerpo completo que previamente había sido calibrado siguiendo las instrucciones del fabricante (26). Los deportistas fueron escaneados con una posición estandarizada usando ropa ligera y sin joyas ni objetos metálicos. Fueron escaneados usando Horizon™ DXA System (Hologic Inc., Bedford, MA) (Figura 1). Todas las mediciones fueron realizadas

por un operador experimentado. Los escaneos fueron analizados usando el software del fabricante.



Figura 1: Escáner DXA.

La imagen digital del deportista se dividida en regiones anatómicas que incluían la cabeza, los brazos, las piernas, el tronco, las regiones androide y ginoide. Se colocaron líneas horizontales directamente inferiores a la mandíbula para marcar la cabeza y al nivel de las crestas ilíacas. Las líneas que atravesaban las articulaciones glenohumerales, aislando los brazos del tronco, unían las líneas horizontales superiores e inferiores. Líneas oblicuas que iban desde la línea horizontal a nivel de la cresta ilíaca a través de los cuellos femorales separaban el tronco y las piernas. Líneas colocadas lateralmente a las piernas separaban los brazos y las piernas, y una línea colocada en el medio de las piernas separaba la pierna izquierda de la derecha (Figura 2).

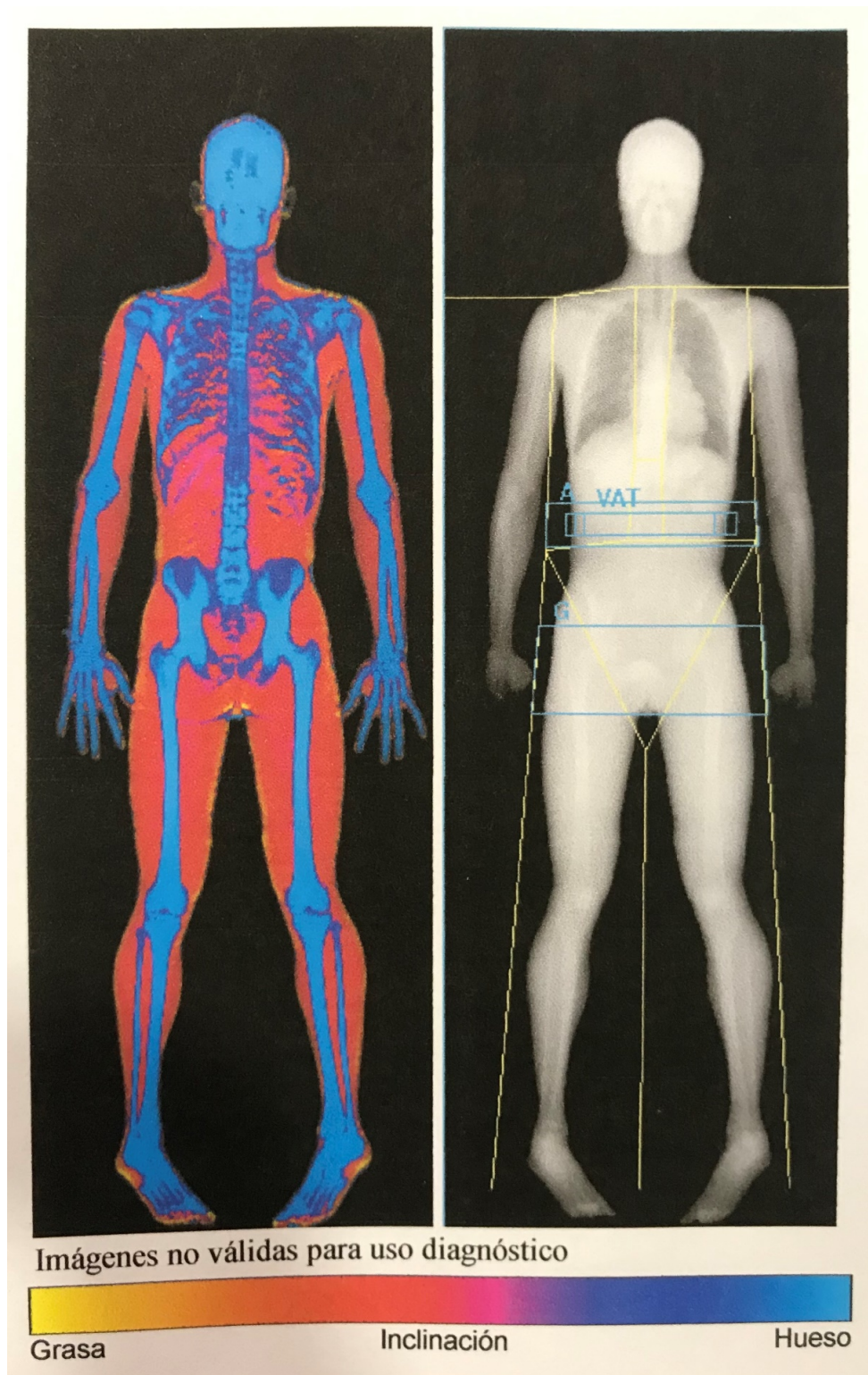


Figura 2. Esquema de las líneas trazadas para delimitar las áreas anatómicas.

5.3.2 Pruebas de esfuerzo

Para la prueba de esfuerzo en tapiz, se empleo el protocolo de Bruce escalonado cada tres minutos con pendiente modificada y que rapidamente alcanzaba la pendiente del 16% desde el tercer escalón, intentando de este modo asemejarse lo máximo posible a la carrera de montaña (Fig. 3)



Figura 3. Prueba en tapiz

En la prueba de ciclo ergómetro se utilizó un protocolo en rampa empezando con 50 watios y un incremento de 20 w/minuto (Fig. 4).

Antes de cada prueba se auscultaba al deportista, se evaluaba la posibilidad de que presentase algún antecedente patológico, se le realizaba un electrocardiograma de reposo y se le tomaba la tensión arterial. Acto seguido se realizba la calibración de la maquinaria, selección del protocolo predeterminado para este estudio y se realizba otro electrocardiogama en sedestación previo a la realización de la prueba.



Fig.4 . Prueba en Ciclo Ergometro.

Los parámetros analizados durante las pruebas de esfuerzo máximo fueron:

<u>Cardiológicas</u>	
FC inicial (latidos/min)	<u>Frecuencia cardíaca inicial</u>
FC AT1 (latidos/min)	<u>Frecuencia cardíaca en umbral aeróbico</u>
FC AT2 (latidos/min)	<u>Frecuencia cardíaca en umbral anaeróbico</u>
FC max (latidos/min)	<u>Frecuencia cardíaca en ejercicio máximo</u>
<u>Metabólicas</u>	
VO₂ AT1 (ml/kg/min)	<u>Consumo de oxígeno en umbral aeróbico</u>
VO₂ AT2 (ml/kg/min)	<u>Consumo de oxígeno en umbral anaeróbico</u>
VO₂ max (ml/kg/min)	<u>Consumo de oxígeno en ejercicio máximo</u>
RER AT1 (VCO ₂ /VO ₂)	<u>Cociente respiratorio en umbral aeróbico</u>
RER AT2 (VCO ₂ /VO ₂)	<u>Cociente respiratorio en umbral anaeróbico</u>
RER max (VCO ₂ /VO ₂)	<u>Cociente respiratorio en ejercicio máximo</u>
METS (Equivalentes metabólicos; 1=3,5 ml/kg/min)	
<u>Ventilatorias</u>	
VE AT1 (l/min)	<u>Ventilación en umbral aeróbico</u>
VE AT2 (l/min)	<u>Ventilación en umbral anaeróbico</u>
VE max (l/min)	<u>Ventilación en ejercicio máximo</u>
<u>Energéticas</u>	
Vatios max	<u>Vatios máximos alcanzados</u>

Durante el transcurso de la prueba, realizada por médicos de especialidad deportiva y siempre con la ayuda de una enfermera, se colontrolaba en todo momento el electrocardiograma para descartar patología que obligase a detener la prueba y se prestaba atención a la valoración subjetiva de esfuerzo que percibía el deportista hasta el momento de detenerla for sensacion de fatiga, esfuerzo insostenible o haber alcanzado valores máximos.

Summary		Ref.	AE	AT Manual	AT %VO2m	MaxVO2	Pred	MaxVO2 %pred	Recov 30 sec
Time averaging 5 Seconds									
Time	min	01:45	05:45	09:10		12:50			13:15
Speed	km/h	4.0	8.5	12.8	76	16.8			5.1
Elev.	%	1.5	1.5	1.5	100	1.5			1.5
Load	W	42	127	191	76	251	206	122	59
W/kg	W/kg	0.7	2.0	3.0	76	4.0			0.9
HR	1/min	76	120	148	86	173	189	92	169
V'CO2	ml/min	561	1841	2640	66	3985			3571
VO2	ml/min	705	2116	2548	75	3391	2639	128	3087
VO2/kg	ml/min/kg	11.1	33.4	40.2	75	53.5	41.6	128	48.7
RER		0.80	0.87	1.04	88	1.18			1.16
BF	1/min	38	39	46	83	55	42	133	41
VE	L/min	24	57	84	64	130	109	119	102
EqCO2		33.8	28.3	29.4	96	30.7			26.9
EqO2		26.9	24.6	30.4	84	36.1			31.2
AT table									
	Time	Load	HR	V'CO2	VO2	VE	RER	VO2/kg	O2/HR
Manual	09:10	191	148	2640	2548	84	1.04	40.2	17.2
RER = 1	08:40	181	146	2562	2566	79	1.00	40.5	17.6
Vslope	08:05	166	139	2327	2445	74	0.95	38.6	17.6
EqO2	08:00	166	137	2109	2275	59	0.93	35.9	16.6
Manual AE	05:45	127	120	1841	2116	57	0.87	33.4	17.6

26748691J

Figura 5. Resumen de la información obtenida en la prueba en cicloergometro.

5.4 Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó con el paquete estadístico de las ciencias sociales (SPSS) versión 24,0 para Mac (IBM, Chicago, IL, USA). Los datos cuantitativos se presentaron como media \pm desviación estándar (SD) y 95% IC. Dado el tamaño limitado de la muestra, las diferencias entre las variables fueron analizadas por las pruebas no-paramétrica de Mann-Whitney (para valorar diferencias de sexo) o de Wilcoxon (para analizar diferencias entre sujetos en las distintas pruebas). La significación estadística se fijó en $p < 0,05$.

6 Resultados

6.1 Características generales de la muestra y antropometría

La tabla 1 presenta las características globales de la muestra: edad, peso, talla, y IMC estratificadas por sexo. No existían diferencias estadísticamente significativas entre varones y mujeres en ninguna de las variables, aunque los varones presentaban mayor peso, altura y IMC.

Tabla 1. Edad y características antropométricas generales de la muestra

	Muestra total n = 10	Varones n = 6	Mujeres n = 4	Mann- Whitney Z (p)
Edad (años)	33,2 ± 8,2	32,3 ± 8,5	34,5 ± 8,8	-0,429 (0,668)
Peso (kg)	62,9 ± 7,7	66,3 ± 8,3	57,8 ± 2,5	-1,711 (0,087)
Talla (cm)	171,8 ± 5,0	173,7 ± 3,8	168,9 ± 5,7	-1,497 (0,134)
IMC	21,3 ± 2,0	21,9 ± 2,3	20,3 ± 0,9	-1,066 (0,352)

La tabla 2 recoge los datos correspondientes a los componentes adiposos de la antropometría. Solo existían diferencias significativas entre hombres y mujeres en el porcentaje de grasa en las extremidades inferiores, mayor en las mujeres (31,3 ± 7,8 vs 19,0 ± 5,4; $p < 0.05$), y por tanto en la proporción de la distribución grasa entre tronco y extremidades, menor en las mujeres (0,71 ± 0,05 vs 1,04 ± 0,25; $p < 0.05$).

Tabla 2. Componentes adiposos de la antropometría

	Muestra total n = 10	Varones n = 6	Mujeres n = 4	Mann- Whitney Z (p)
Masa Grasa EESS	673,4 ± 211,3	629,9 ± 203,4	738,6 ± 235,7	-0,855 (0,392)
% Grasa EESS	21,3 ± 8,1	17,3 ± 3,8	27,4 ± 9,4	-1,706 (0,088)
Masa Grasa Tronco	5694,3 ± 1616,5	5698,2 ± 1843,4	5688,7 ± 1474,9	0,000 (1,000)
% Grasa Tronco	19,8 ± 5,2	18,5 ± 4,4	21,8 ± 6,4	-0,853 (0,394)
Masa Grasa EEII	2565,1 ± 857,0	2130,7 ± 668,3	3216,5 ± 718,1	-1,919 (0,055)
% Grasa EEII	23,9 ± 8,8	19,0 ± 5,4	31,3 ± 7,8	-2,132 (0,033)*
Grasa tronco/extremidad	0,91 ± 0,25	1,04 ± 0,25	0,71 ± 0,05	-2,566 (0,010)*
Masa Grasa Total (kg)	13,2 ± 3,5	12,4 ± 3,4	14,4 ± 3,9	-1,279 (0,201)
% Grasa Total	21,8 ± 6,2	10,9 ± 4,3	25,9 ± 6,9	-1,706 (0,088)
IMG	4,5 ± 1,2	4,1 ± 0,9	5,1 ± 1,3	-1,492 (0,136)

EESS: Extremidades superiores; EEII: Miembros inferiores; IMG: Índice de masa grasa * p<0.05

La tabla 3 muestra los datos relativos al componente óseo de la antropometría. Tanto las cifras del CMO como de la DMO reflejan buena calidad ósea en los sujetos analizados. Respecto a la CMO, las únicas diferencias entre hombres y mujeres se detectaron en las extremidades superiores y en el CMO total que fueron superiores en los varones (p<0.05, en ambos casos). En las extremidades inferiores y en la pelvis la CMO fue superior también en los hombres, estando las diferencias próximas a ser estadísticamente significativas (p=0,055 y p=0.088 respectivamente). Por lo que se refiere a la DMO, los varones tenían cifras mayores en casi todas las localizaciones anatómicas, pero las diferencias solo fueron estadísticamente significativas en las extremidades inferiores (1,364 ± 0,119 vs 1,109 ± 0,104; p<0.05).

Tabla 3. Contenido mineral óseo (CMO) y densidad mineral ósea (DMO) en las distintas regiones anatómicas analizadas.

	Muestra total n = 10	Varones n = 6	Mujeres n = 4	Mann-Whitney Z (p)
CMO (gr)				
EESS	166,2 ± 56,1	198,9 ± 43,7	117,2 ± 30,5	-2,345 (0,019)*
Col. Dorsal	109,3 ± 16,4	111,8 ± 17,7	105,5 ± 15,9	-0,213 (0,831)
Col. Lumbar	54,7 ± 13,7	52,0 ± 9,7	58,8 ± 19,3	-0,426 (0,670)
Pelvis	297,4 ± 50,9	318,5 ± 47,1	265,9 ± 43,2	-1,706 (0,088)
EEII	466,5 ± 91,0	512,3 ± 82,2	397,9 ± 55,9	-1,919 (0,055)
CMO Total	2450,5 ± 368,4	2608,8 ± 348,1	2212,9 ± 282,4	-2,132 (0,033)*
DMO (gr/cm²)				
EESS	0,819 ± 0,093	0,803 ± 0,111	0,845 ± 0,064	-0,853 (0,394)
Col. Dorsal	0,862 ± 0,099	0,905 ± 0,104	0,797 ± 0,045	-1,919 (0,055)
Col. Lumbar	1,087 ± 0,074	1,072 ± 0,083	1,110 ± 0,063	-1,066 (0,286)
Pelvis	1,133 ± 0,106	1,183 ± 0,087	1,057 ± 0,091	-1,919 (0,055)
EEII	1,262 ± 0,169	1,364 ± 0,119	1,109 ± 0,104	-2,345 (0,019)*
DMO Total	1,171 ± 0,101	1,220 ± 0,090	1,099 ± 0,074	-1,919 (0,055)
T-Score	0,10 ± 0,83	0,27 ± 0,81	-0,07 ± 0,93	-0,438 (0,661)
Z-Score	0,04 ± 0,84	0,21 ± 0,91	-0,22 ± 0,76	-0,430 (0,667)

EESS: Extremidades superiores; EEII: Miembros inferiores * p<0.05

6.2 Pruebas de tolerancia al esfuerzo máximo

La tabla 4 muestra los resultados de los distintos parámetros cardiológicos, metabólicos, ventilatorios y energéticos globales discriminados en función de la prueba: tapiz o CE.

A excepción del registro basal, las FC fueron menores en la prueba con CE, siendo las diferencias estadísticamente significativas en VT2 (umbral anaeróbico) con una significación estadística de $p=0,007$ siendo la media en tapiz ($164 \pm 11,3$ en tapiz versus $150,7 \pm 15,1$ e CE; $p<0.01$). El porcentaje al que encontramos la FC en VT2 es el siguiente; Tapiz: 74,6% varones, 82.4% en mujeres; CE: 82,8% varones vs 71,3% mujeres). También se encontraron diferencias significativas en la frecuencia cardiaca en máximo esfuerzo ($180,3 \pm 10,9$ en tapiz vs $172,9 \pm 10$ en CE; $p<0.05$) (Figura 6).

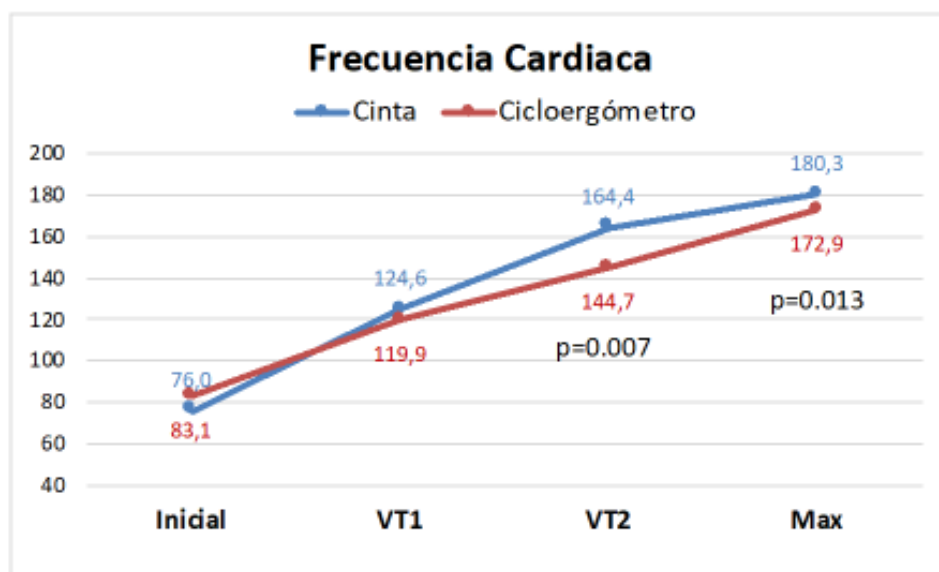


Figura 6. Comportamiento de la frecuencia cardiaca a lo largo de ambas pruebas de esfuerzo, en tapiz y en cicloergómetro (Inicial: en repaso; VT1: umbral aeróbico; VT2 umbral anaeróbico; Max: máximo esfuerzo).

También existían diferencias estadísticamente significativas en el consumo de oxígeno tanto en el umbral anaeróbico (VT2) ($p<0.05$) como en esfuerzo máximo ($p<0.01$). Los consumos de oxígeno fueron siempre menores en la prueba en tapiz (Figura 7).

Tabla 4. Parámetros cardiológicos, metabólicos, ventilatorios y energéticos globales obtenidos durante las pruebas de tolerancia al esfuerzo.

		Tapiz		Ciclo ergómetro		Wilcoxon	
		Media ± SD	9 5% IC	Me dia± SD	95 % IC	z	p
Cardiológicas							
FC	inicial	76 ± 14,55	6	83,	10	-	0
(latidos/min)			5,6-86,4	1 ± 21,24	6,75-139,57	1,021	,307
FC	vT1	124,6 ±	1	11	10	-	0
(latidos/min)		16,91	12,49-136,70	9,88 ± 15,07	8,3-131,47	1,071	,284
FC	vT2	164 ±	1	15	13	-	0,
(latidos/min)		11,27	56,33-172,46	0,7 ± 15,12	9,88-161,51	2,710	007*
FC	max	180,3 ±	1	17	16	-	0,
(latidos/min)		10,94	72,47-188,12	2,9 ± 10	5,72-180	2,492	013*
Metabólicas							
VO ₂	vt1	27,5 ±	2	26,	21,	-	0,
(ml/kg/min)		6,28	3-32	45 ± 6,76	25-31,65	0,059	95
VO ₂	vT2	43 ±	3	36,	30,	-	0,
(ml/kg/min)		7,73	7,52-48,59	89 ± 9,10	37-43,40	2,39	017*
VO ₂	max	56,4 ±	4	46,	41,	-	0,
(ml/kg/min)		10,77	8,7-64,11	77 ± 7,42	45-52	2,8	005*
VE/VO ₂	VT1	1,64 ±	1,	1.7	0.8	-	0,
		0,22	44-1,76	1±1.05	3-2.59	0.42	674
VE/VO ₂	VT2	1,77 ±	1,	2.1	1.1	-	0,
		0,25	58-1,95	3±1.37	5-3.12	0,102	919
VE/VO ₂	máx	2 ± 0,29	1,	2.5	1.9	-	0,
			79-2,22	6±0.9	1-3.21	1.48	139
RER	vT1	1,5 ± 0,91	0,	0.8	0.8	-	0,
(VO ₂ /VO ₂)			90-2,20	7 ± 0.02	3-0.90	1,19	230
RER	vT2	1,04 ±	1,	1.0	1.0	-	0,
(VO ₂ /VO ₂)		0,02	02-1,06	3 ± 0.01	1-1.05	0,87	380
RER	max	1,23 ±	1,	1.2	1.1	-	0,
(VO ₂ /VO ₂)		0,06	19-1,28	1 ± 0.03	6-1.27	1,63	100
METS	(Eq. metabólicos)	16,1 ±	1	13,	11,	-	0,
		3	3,91-18,32	36 ± 2,12	84-14,88	2,8	005*
Ventilatorias							
VE vT1 (L/min)		44,6 ±	3	41.	32.	-	0.
		13,92	4,6-54,56	3±12.68	22-50.37	0,306	760
VE vT2 (L/min)		81,10 ±	6	68.	50.	-	0,
		23,23	4,48-97,71	4±24.4	94-85.85	0.968	330
VE	max	129,30 ±	1	11	95.	-	0,
(L/min)		40,76	00,13-158,46	4.7-27	37-134.02	0.866	386
FR VT1		24,8 ±	2	23,	18.	-	0,
		5,57	0,8-28,78	22 ± 6,20	45-27,98	0,84	390
FR VT2		34,7 ± 10	2	31,	27,	-	0,
			7,51-41,88	4 ± 6,11	02-35,77	0,918	359
FR máx		48,2 ±	4	51,	41,	-	0,
		9,51	1,39-55	5 ± 13,78	63-61,36	0,255	780
Energéticas							
Vatios/kg vt1		2.13 ±	1.	1.4	1.1	-	0.
		0.47	64-2.64	5 ± 0.17	7-1.72	1.71	086
Vatios /kg vt2		3.30 ±	2.	2.2	1.7	-	0.
		0.77	48-4.12	7 ± 0.32	6-2.78	2.34	019*
Vatios/kg max		4,39 ±	3,	3,9	3,1	-	0,
		1,40	38-5,39	5 ± 1,05	6-4.73	0,87	380

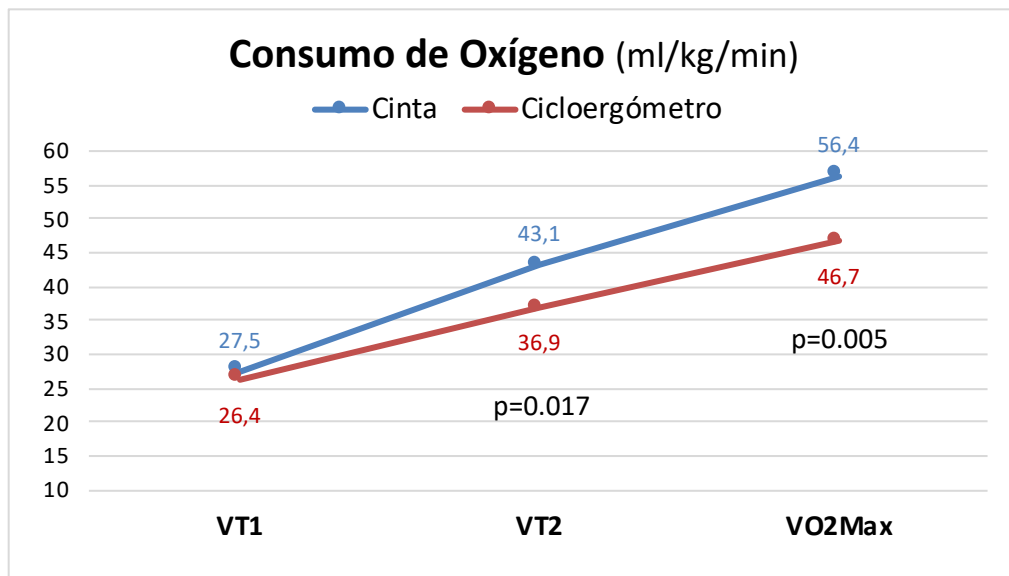


Figura 7. Consumo de oxígeno (ml/kg/min) a lo largo de ambas pruebas de esfuerzo, en tapiz y en cicloergómetro (VT1: umbral aeróbico; VT2 umbral anaeróbico; Max: máximo esfuerzo).

No se observaron diferencias entre las dos pruebas en la ventilación, cociente VE/VO_2 , cociente respiratorio (RER) y frecuencia respiratoria en ninguno de los umbrales ni en esfuerzo máximo. Estos parámetros fueron siempre discretamente mayores en la prueba en tapiz.

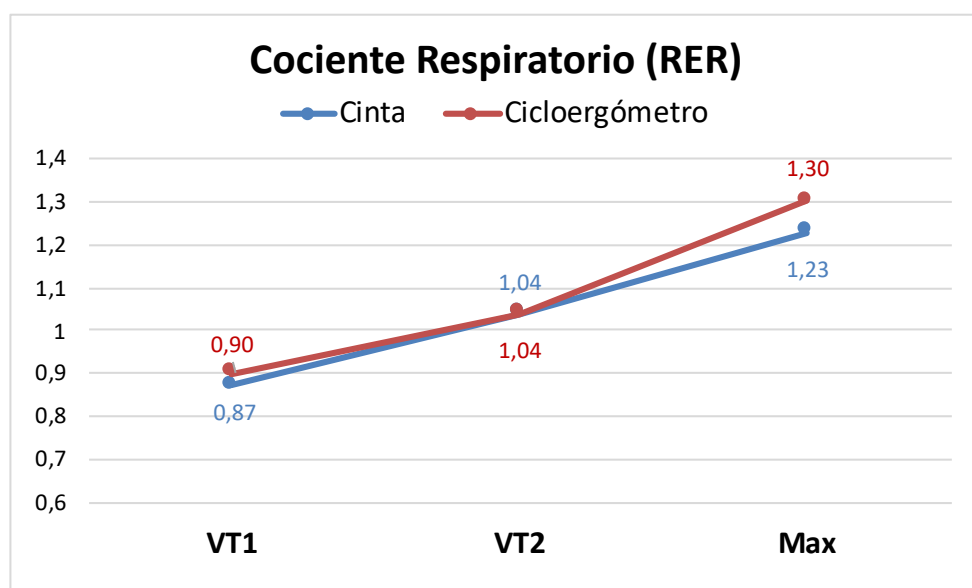


Figura 8. Comportamiento del Cociente respiratorio (RER) a lo largo de ambas pruebas de esfuerzo, en tapiz y en cicloergómetro (VT1: umbral aeróbico; VT2 umbral anaeróbico; Max: RER en máximo esfuerzo).

La Figura 9 muestra el comportamiento de la frecuencia respiratoria, entre tapiz y CE, en los distintos momentos de las pruebas: vt1, vt2 y esfuerzo máximo. No existían diferencias significativas entre las dos pruebas.

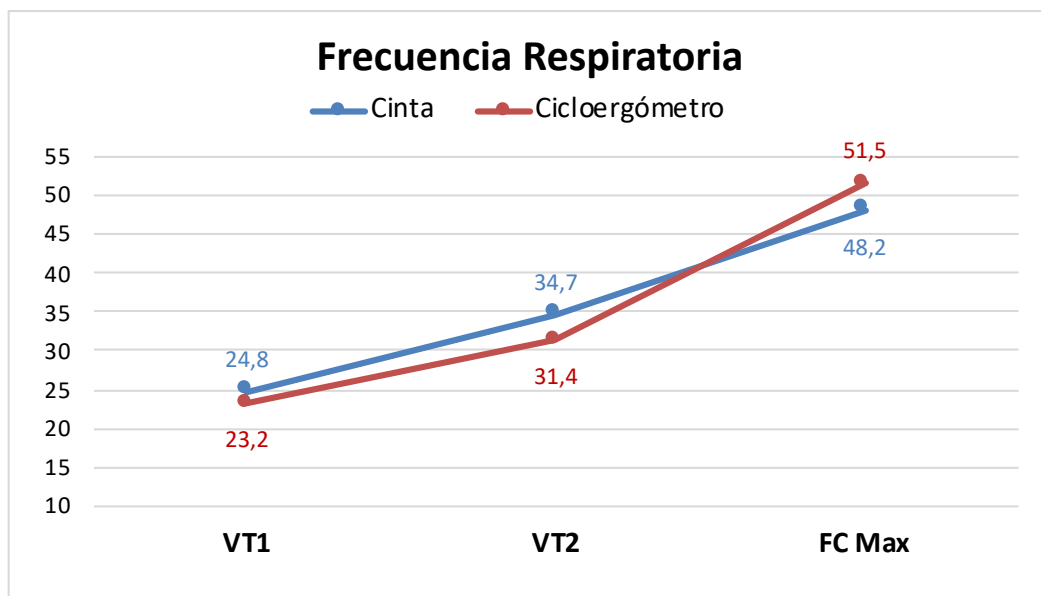


Figura 9. Frecuencia respiratoria (latidos/min) a lo largo de ambas pruebas de esfuerzo, en tapiz y en cicloergómetro (VT1: umbral aeróbico; VT2 umbral anaeróbico; FC Max: Frecuencia cardíaca en máximo esfuerzo).

A nivel energético, la prueba con tapiz requirió de mayor número de equivalente metabólicos (METS) que los que demandó la prueba en CE ($16,1 \pm 3$ vs $13,4 \pm 2,1$; $p < 0.01$). Así mismo, los vatios/kg requeridos por la prueba en tapiz también fueron superiores a lo que exigió la prueba en CE en los tres estadios analizados (umbral aeróbico, anaeróbico y máximo esfuerzo), aunque las diferencias solo fueron estadísticamente significativas en VT2.

La Tabla 5 recoge los resultados de los parámetros cardiológicos, metabólicos, ventilatorios y energéticos obtenidos durante la prueba de tolerancia al esfuerzo en tapiz discriminándolos por el sexo de los atletas. Solo existían diferencias estadísticamente significativas en algunos parámetros en máximo esfuerzo, tales como el $VO_2\text{max}$, VE y METS. Los hombres presentaron

consumos de oxígeno mas elevados en ambos umbrales, pero solo existían diferencias significativas en el máximo esfuerzo (62.7 ± 8.9 en hombres vs 46.9 ± 3.8 en mujeres; $p < 0.05$). El volumen espirado máximo, VE Max, fue también superior en hombres que en mujeres (151.2 ± 36.0 vs 96.5 ± 20.9 ; $p < 0.05$). Por ultimo, los equivalentes metabólicos requeridos en máximo esfuerzo fueron superiores en hombres que en mujeres (17.9 ± 2.5 vs 13.4 ± 1.1 ; $p < 0.05$).

Tabla 5. Parámetros cardiológicos, metabólicos, ventilatorios y energéticos obtenidos durante las pruebas de tolerancia al esfuerzo en tapiz.

		Hombres		Mujeres		Mann-Whitney test	
		Medi a \pm SD	9 5% IC	media \pm SD	9 5% IC	Z	P
Cardiológicos							
as							
FC	inicial	75.5	5	76.75	5	-	0.
(latidos/min)		± 17.31	7.3-93.6	± 11.58	8.3-95.18	0.42	67
FC	vT1	120.6	9	130.5	1	-	0.
(latidos/min)		6 \pm 21	8.6-142.75	± 6.55	20-140.9	1.18	23
FC	vT2	165.3	1	163 \pm	1	-	0.
(latidos/min)		± 14.43	50.18-180.47	5.47	54.28-171.71	0.322	74
FC	max	183.3	1	175.7	1	-	0.
(latidos/min)		± 12.59	70.11-196.55	5 \pm 6.99	64.62-186.87	1.07	28
Metabólicas							
VO₂	vT1	28.61	2	25	16.3	-	0.
(ml/kg/min)		± 6.8	1.4-35.7	.82 \pm 5.93	8-35.26	0.64	52
VO₂	vT2	46.8	3	38.65	3	-	0.
(ml/kg/min)		± 49	7.08-54.91	± 3.97	2.31-44.98	1.27	20
VO₂	max	62.75	5	46.9 \pm	4	-	0.
ml/kg/min)		± 8.92	3.38-72.11	3.82	0.81-52.98	2.55	011*
RER	vT1	1.76	0.	1.23 \pm	0	-	0.
(VO ₂ /VO ₂)		± 1.01	70-2.83	0.74	.05-2.41	096	33
RER	vT2	1.05	1.	1.03 \pm	1	-	0.
(VO ₂ /VO ₂)		± 0.03	02-1.09	0.01	.01-1.05	1.33	19
RER	max	1.25	1.	1.21 \pm	1	-	0.
(VO ₂ /VO ₂)		± 0.07	16-1.33	0.03	.16-1.27	0.69	51
METS	(Eq.	17.93	1	13.4 \pm	1	-	0.
metabólicos)		± 2.55	5.27-20.60	1.09	1.66-15.13	2.55	011*
Ventilatoria							
s							
VE	vT1	48.8	3	38.25	2	-	0.
(L/min)		± 15.56	2.5-65.14	± 9.42	3.24-53.25	1.28	19
VE	vT2	90.83	6	66.5 \pm	4	-	0.
(L/min)		± 23.48	6.18-115.48	15.02	2.59-90.4	1.60	10
VE	max	151.1	1	96.5 \pm	6	-	0.
(L/min)		6 \pm 35.99	13.39-188.93	20.88	3.26-129.73	2.34	019*
Energéticas							
Vatios/kg		2.43	1.	1.95 \pm	1	-	0.
vt1		± 0.8	59-3.27	0.33	.42-2.47	0.75	44
Vatios/kg		4.36	3.	3.27 \pm	2	-	0.
vt2		± 0.95	35-5.36	0.63	.25-4.29	1.70	08
Vatios/kg		5 \pm	4.	3.45 \pm	0	-	0.
max		0.82	15-5.88	1.69	.76-6.13	1.49	13

La Tabla 6 recoge los datos cardiológicos, metabólicos, ventilatorios y energéticos obtenidos durante la prueba de tolerancia al esfuerzo en cicloergómetro desglosados por hombres y mujeres. Como en la prueba en tapiz, el VO_2max fue superior en hombres que en mujeres (51.2 ± 3.6 vs 40.0 ± 6.5 ; $p < 0.05$).

Contrariamente a lo observado en la prueba con tapiz, el VE por las mujeres en ambos umbrales, VT1 y VT2, fue superior al de los hombres siendo las diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$ en ambos casos). Sin embargo, en máximo esfuerzo no se observaron diferencias entre hombres y mujeres en el VE_{max} (Tabla 6).

Respecto al número de equivalentes metabólicos (METS) en máximo esfuerzo realizado en CE, también existían diferencias estadísticamente significativas entre hombres y mujeres siendo superiores en los hombres (13.54 ± 1.04 vs 11.4 ± 1.9 ; $p < 0.05$). Además, el trabajo en vatios/kg fue superior en los hombres respecto a las mujeres en todos los estadios analizados, aunque solo hubo diferencias significativas en el umbral anaeróbico (VT2).

Tabla 6. Parámetros cardiológicos, metabólicos, ventilatorios y energéticos obtenidos durante las pruebas de tolerancia al esfuerzo en cicloergómetro.

		Hombres		Mujeres		Mann-Whitney test	
		Me	95%	media	95%		
		dia ± SD	IC	± SD	IC		
Cardiológicas							
FC	inicial	72.	62.65-	99 ±	59.23		
	(latidos/min)	33 ± 9.22	82	25	-139.26	1.71	.12
FC	vT1	123	106.7	113.3			
	(latidos/min)	.16 ± 15.63	5-139.57	3 ± 14.15		0.75	.43
FC	vT2	154	135.2	144.7	134.8		
	(latidos/min)	.66 ± 18.46	8-174	5 ± 6.23	-154.67	0.64	.52
FC	max	176	163.6	168.2	160.5		
	(latidos/min)	± 11.74	7-188.32	5 ± 4.85	2-175.97	0.85	.39
Metabólicas							
VO ₂	vT1	29.	23.35-	20.90	23.35		
	(ml/kg/min)	23 ± 5.59	35.10	± 5.59	-35.10	1.54	.12
VO ₂	vT2	42.	37.10-	28.57	17.10		
	(ml/kg/min)	42.43- 5.07	43 ± 5.07	47.79	±7.21	-40	1.92 .054
VO ₂	max	51.	47.42-	40 ±	29.6-		
	(ml/kg/min)	25 ± 3.64	55.07	6.56	50.48	2.34	.019*
RER	vT1	0.9	0.85-	0.87 ±	0.83-		
	(VO ₂ /VO ₂)	2 ± 0.06	0.99	0.02	0.90	1.04	.29
RER	vT2	1.0	1.02-	1.03 ±	1.01-		
	(VO ₂ /VO ₂)	5 ± 0.03	1.09	1.01	1.05	1.29	.19
RER	max	1.2	1.13-	1.21 ±	1.16-		
	(VO ₂ /VO ₂)	5± 0.07	1.33	0.03	1.27	0.10	.91
METS	(Eq.	14,	13,54-	11.44	8.45-		
	metabólicos)	64 ± 1,04	15,73	±1.87	14.42	2.34	.019*
Ventilatorias							
VE	vT1	47.	35.9-	53.25	40.16		
	(L/min)	5± 11.05	59.1	± 8.22	-66.33	2.36	.018*
VE	vT2	82±	60.27-	90.5 ±	58.66		
	(L/min)	20.69	103.72	20	-122.33	2.13	.033*
VE	max	128	105.2	127.2	81.33		
	(L/min)	.66± 22.28	7-152	5 ± 28.83	-173.13	1.27	.2
Energéticas							
Vatios vt1		2.1	1.64-	1.45 ±	1.17-		
		3 ± 0.47	2.62	0.17	1.72	2.15	.031
Vatios vt2		3.3	2.48-	2.27 ±	1.76-		
		0 ± 0.77	4.12	0.32	2.78	2.03	.042*
Vatios max		4.4	3.35-	3.17 ±	2.19-		
		7 ± 1.06	5.58	0.61	4.15	1.81	.069

La Tabla 7 compara los resultados obtenidos por hombres en ambas pruebas de esfuerzo. En la prueba en CE, el consumo de oxígeno fue menor en el umbral anaeróbico (AT2) y en el máximo esfuerzo, siendo las diferencias, con respecto a los datos obtenidos por tapiz, estadísticamente significativas solo en máximo esfuerzo (51.25 ± 3.64 en CE vs 62.75 ± 8.92 en tapiz; $p < 0.05$). En LA VEmax también existían diferencias significativas siendo menor en la prueba en CE (128.66 ± 22.28 vs 151.16 ± 35.99 ; $p < 0.05$). En los umbrales aeróbico y anaeróbico no existían diferencias en el volumen expirado por minuto, aunque fue mayor en AT2.

El mayor consumo de oxígeno y ventilación en la prueba en tapiz condicionó unos mayores requerimientos en equivalentes metabólicos al alcanzar el esfuerzo máximo (17.93 ± 2.55 en tapiz vs 14.64 ± 1.04 ; $p < 0.05$).

Tabla 7. Parámetros cardiológicos, metabólicos, ventilatorios y energéticos obtenidos durante las pruebas de tolerancia al esfuerzo, comparando los resultados de los hombres en el tapiz vs los hombres en el cicloergómetro.

		Hombres (tapiz)		Hombre (CE)		Wilcoxon	
		Media	95	media	95%		
		± SD	% IC	± SD	IC		
Cardiológica							
cas	FC inicial	75.5 ±	57.	72.33	62.65		
	(latidos/min)	17.31	3-93.6	± 9.22	-82		
	FC vT1	120.6	98.	123.1	106.7		
	(latidos/min)	6 ± 21	6-142.75	6 ± 15.63	5-139.57	0.10	.91
cas	FC vT2	165.3	150	154.6	135.2		
	(latidos/min)	± 14.43	.18-180.47	6 ± 18.46	8-174	1.99	.046*
	FC max	183.3	170	176 ±	163.6		
	(latidos/min)	± 12.59	.11-196.55	11.74	7-188.32	2.02	.043*
Metabólica							
s	VO ₂ vT1	28.61	21.	29.23	23.35		
	(ml/kg/min)	± 6.8	4-35.7	± 5.59	-35.10	0.314	.75
	VO ₂ vT2	46.8 ±	37.	42.43	37.10		
	(ml/kg/min)	49	08-54.91	± 5.07	-47.79	1.36	.17
cas	VO ₂ max(62.75	53.	51.25	47.42		
	ml/kg/min)	± 8.92	38-72.11	± 3.64	-55.07	2.2	.028*
	RER vT1	1.76 ±	0.7	0.92 ±	0.85-		
	(VO ₂ /VO ₂)	1.01	0-2.83	0.06	0.99	1.68	.09
cas	RERvT2	1.05 ±	1.0	1.05 ±	1.02-		
	(VO ₂ /VO ₂)	0.03	2-1.09	0.03	1.09	1.15	.24
	RER max	1.25 ±	1.1	1.25±	1.13-		
	(VO ₂ /VO ₂)	0.07	6-1.33	0.07	1.33	0.94	.345
cas	METS (Eq.	17.93	15.	14.64	13.54		
	metabólicos)	± 2.55	27-20.60	± 1.04	-15.73	2.2	.028*
	Ventilatoria						
	as	VE vT1	48.8 ±	32.	47.5±	35.9-	
(L/min)		15.56	5-65.14	11.05	59.1	1.57	.11
VE vT2		90.83	66.	82±	60.27		
(L/min)		± 23.48	18-115.48	20.69	-103.72	2.2	.028*
cas	VE max	151.1	113	128.6	105.2		
	(L/min)	6 ± 35.99	.39-188.93	6± 22.28	7-152	2.2	.028*
	Energética						
	s	Vatios vt1	2.43 ±	1.5	2.13 ±	1.64-	
		0.8	9-3.27	0.47	2.62	1.15	.24
Vatios vt2		4.36 ±	3.3	3.30 ±	2.48-		
		0.95	5-5.36	0.77	4.12	1.78	.075
cas	Vatios max	5 ±	4.1	4.47 ±	3.35-		
		0.82	5-5.88	1.06	5.58	0.94	.345

La Tabla 8 compara los resultados obtenidos por mujeres en ambas pruebas, tapiz y CE. En este caso no hay ningún valor que muestre diferencias estadísticamente significativas entre ambas pruebas. Curiosamente, a pesar de que en máximo esfuerzo la ventilación (VE_{max}) fue más alta en la prueba en tapiz, el consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}) fue mayor en la prueba en CE, sin diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 8. Parámetros cardiológicos, metabólicos, ventilatorios y energéticos obtenidos durante las pruebas de tolerancia al esfuerzo, comparando los resultados de las mujeres en el tapiz vs las mujeres en el cicloergómetro.

		Mujeres (ciclo)		Mujeres (tapiz)		Wilcoxon	
		Media \pm SD	95% IC	media \pm SD	95 % IC		
Cardiológicas							
s	FC inicial (latidos/min)	99 \pm 25	59.23 -139..26	76.75 \pm 11.58	58. 3-95.18	1.46	.14
	FC vT1 (latidos/min)	113.33 \pm 14.15		130.5 \pm 6.55	120 -140.9	1.60	.10
	FC vT2 (latidos/min)	144.75 \pm 6.23	134.8 -154.67	163 \pm 5.47	154 .28-171.71	1.8	.06
	FC max (latidos/min)	168.25 \pm 4.85	160.5 2-175.97	175.7 5 \pm 6.99	164 .62-186.87	1.46	.14
Metabólicas							
	VO₂ vT1 (ml/kg/min)	20.90 \pm 5.59	23.35 -35.10	25.82 \pm 5.93	16. 38-35.26	0.535	.59
	VO₂ vT2 (ml/kg/min)	28.57 42.43- 5.07 \pm 7.21 17.10-40	17.10 -40	38.65 \pm 3.97	32. 31-44.98	1.8	.06
	VO₂ max (ml/kg/min)	40 \pm 6.56	29.6- 50.48	46.9 \pm 3.82	40. 81-52.98	1.8	.06
	RER vT1 (VO ₂ /VO ₂)	0.87 \pm 0.02	0.83- 0.90	1.23 \pm 0.74	0.0 5-2.41	0.813	.414
	RER vT2 (VO ₂ /VO ₂)	1.03 \pm 1.01	1.01- 1.05	1.03 \pm 0.01	1.0 1-1.05		
	RER max (VO ₂ /VO ₂)	1.21 \pm 0.03	1.16- 1.27	1.21 \pm 0.03	1.1 6-1.27	1.47	.14
	METS (Eq. metabólicos)	11.44 \pm 1 .87	8.45- 14.42	13.4 \pm 1.09	11. 66-15.13	0.368	.713
Ventilatorias							
	VE vT1 (L/min)	53.25 \pm 8.22	40.16 -66.33	38.25 \pm 9.42	23. 24-53.25	1.6	.10
	VE vT2 (L/min)	90.5 \pm 20	58.66 -122.33	66.5 \pm 15.02	42. 59-90.4	1.8	.06
	VE max (L/min)	127.25 \pm 28.83	81.33 -173.13	96.5 \pm 20.88	63. 26-129.73	1.8	.06
Energéticas							
	Vatios vt1	1.45 \pm 0.17	1.17- 1.72	1.95 \pm 0.33	1.4 2-2.47	1.34	.18
	Vatios vt2	2.27 \pm 0.32	1.76- 2.78	3.27 \pm 0.63	2.2 5-4.29	1.82	.06
	Vatios max	3.17 \pm 0.61	2.19- 4.15	3.45 \pm 1.69	0.7 6-6.13	0.36	.71

En la figura 10 se representan los datos de equivalentes metabólicos desarrollados en cada prueba de esfuerzo discriminado por sexos. Los requerimientos metabólicos fueron superiores en la prueba en cinta comparado con la prueba en CE. Los METS requeridos en máximo esfuerzo fueron superiores en hombres que en mujeres en ambas pruebas (valores globales: $16,1 \pm 3,1$ en tapiz vs $13,36 \pm 2,12$: en CE; $p < 0,01$). Estas diferencias fueron también observadas tanto en la muestra de varones como la de mujeres (Tabla 6 y 7). En la prueba en tapiz, la diferencia en METS entre hombres y mujeres fue estadísticamente significativa ($17,93 \pm 2,55$ en hombres y en $13,4 \pm 1,09$ mujeres; $p < 0,05$).

En la prueba con CE también se observaron diferencias significativas entre hombre y mujeres ($14,64 \pm 1,04$ en hombres y $11,44 \pm 1,87$ en mujeres; $p < 0,05$).

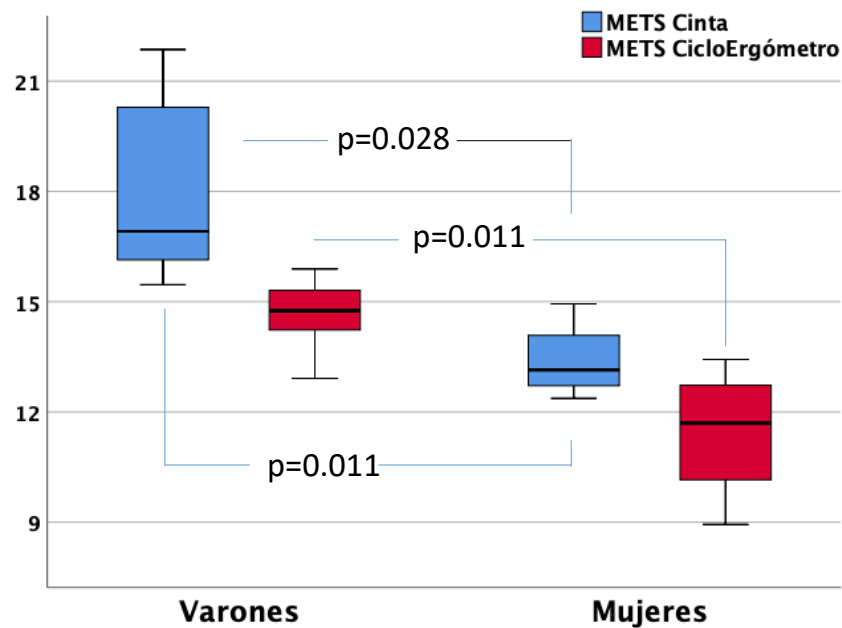


Figura 10 Equivalentes metabólicos (METS) requeridos para realizar el esfuerzo máximo en las dos pruebas de esfuerzo, en tapiz y en cicloergómetro, dependiendo del sexo de los atletas.

6.3 Correlación entre variables antropométricas y parámetros cardiorrespiratorios

En la Tabla 9 se presentan los coeficientes de correlación y la significación estadística entre las principales variables antropométricas que reflejan los componentes graso y óseo, el consumo de oxígeno (con y sin normalización por peso) y la ventilación en las dos pruebas de esfuerzo. El VO_2max en la prueba en tapiz se correlacionó con el % total de grasa, la ratio grasa del tronco/ grasa de extremidades, y la DMO total.

El VO_2max en ml/min sin relación al peso, también se correlacionó con el % total de grasa y la DMO total. El VE_{max} también estaba relacionado con la masa y el porcentaje total de grasa y la DMO total.

En la prueba con CE, las correlaciones fueron mas limitadas. El VO₂max también se correlacionó con la masa y el % total de grasa, y la DMO total. El VO₂max en ml/min, sin normalización por peso, se correlacionó solo con la DMO total. En esta prueba, el volumen expirado máximo no se correlacionó con los parámetros antropométricos.

Tabla 9. Correlaciones entre parámetros antropométricos y cardiorrespiratorios en las dos pruebas de esfuerzo.

Prueba en Tapiz				Prueba en Cicloergómetro		
	VO ₂ max	VO ₂ max ml/min	VE _{max}	VO ₂ maxCE	VO ₂ max CE ml/min	VE CE Max
Masa Grasa Total	r	-0,600	-0,467	-,673*	-,661*	-0,333
	Sig.	0,067	0,174	0,033	0,038	0,214
% de grasa Total	r	-,818**	-,782**	-,879**	-,721*	-0,588
	Sig.	0,004	0,008	0,001	0,019	0,074
%gras tronco/%gras. en pierna	r	,650*	0,541	0,578	0,468	0,602
	Sig.	0,042	0,106	0,080	0,172	0,066
DMO Total (g/cm ²)	r	,697*	,794**	,830**	,661*	,855**
	Sig.	0,025	0,006	0,003	0,038	0,002
T-Score	r	0,422	0,578	0,651	0,217	0,494
	Sig.	0,298	0,133	0,081	0,606	0,213

** La correlación es significativa en el nivel 0,01

* La correlación es significativa en el nivel 0,05

7 Discusión

El presente estudio compara la respuesta cardiorrespiratoria al máximo esfuerzo en duatletas mediante dos pruebas distintas, en cinta de marcha y en cicloergómetro, que se ajustan a sus dos modalidades deportivas: carrera y ciclismo. Los resultados muestran que la respuesta cardiorrespiratoria es diferente en cada una de las pruebas. Así, la frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno (VO_2 en ml/kg/min) son más altos en la prueba en pista, tanto en el umbral anaeróbico como en el máximo esfuerzo. Los requerimientos energéticos, expresados por los equivalentes metabólicos (METS) y el cociente Váticos/kg también resultaron ser mayores en la prueba en cinta. Estas diferencias entre prueba en cinta y cicloergómetro afectaban a los atletas varones y no a las mujeres. Quizá, con un tamaño muestral mayor de atletas femeninas, los resultados pudiesen equipararse a los de los hombres.

Un hallazgo interesante en este estudio es la correlación entre parámetros cardiorrespiratorios (VO_2max en ml/min ; VE max) y algunas variables antropométricas. En concreto, el VO_2max y la VEmax se correlacionaron positivamente en ambas pruebas, cinta y cicloergómetro, con la DMO (gr/m^2) y negativamente con el % de grasa total, solo en la prueba en cinta.

Otros estudios han encontrado una correlación directa entre VO_2 y DMO, pero han sugerido que esta relación podría no existir en deportistas con VO_2 elevados y peso bajo (27). En contraposición a estos resultados, nuestro estudio sí que encuentra dicha correlación en sujetos deportistas, siendo el segundo hasta la fecha que correlaciona estas variables.

En cuanto a la relación entre el $\text{VO}_2\text{ max}$ y el porcentaje de grasa corporal, encontramos una correlación negativa, siendo inferiores los valores de $\text{VO}_2\text{ max}$ a mayor porcentaje de grasa corporal, especialmente en mujeres. Este mismo hallazgo ha sido referido en estudios previos (28), aunque no han demostrado que esta relación tenga una significación estadística. Este aspecto debería ser investigado en más profundidad especialmente en deportistas y, en concreto mujeres.

7.1 VO₂Max

Los fisiólogos deportivos que trabajan con deportistas multideporte, como duatletas, triatletas o corredores de montaña que practican tanto ciclismo como carrera a pie frecuentemente emplean test de esfuerzo incremental máximo para evaluar el estado de forma y planificar el entrenamiento. Estas variables fisiológicas medidas bien en ciclismo o carrera a pie pueden extrapolarse indiferentemente como consecuencia del entrenamiento cruzado y la adaptación. Aunque también es posible que existan diferencias en cada deporte en función de la priorización temporal que le dedique el deportista o su deporte de preferencia (19).

Acudimos a la bibliografía del triatlón, dada la escasez de estudios existentes en lo referente a corredores de montaña vamos a emplear por ello el triatlón y sus estudios comparativos entre disciplinas para poder situar y cotejar los resultados obtenidos en nuestro estudio. Los valores de VO₂ máximo en triatlón son muy variables entre quienes lo practican teniendo registros desde 45 hasta 85 ml.kg⁻¹m. (29), dependiendo en gran medida del nivel de entrenamiento y siendo comparables por tanto con nuestra muestra. En nuestro estudio el consumo máximo de oxígeno, VO₂Max, se situaba en los límites bajos del estudio citado, mostrando diferencias significativas entre las dos pruebas ($p=0.005$), revelando unos valores de $(56,4 \pm 10,77)$ en la prueba en tapiz y $(46,77 \pm 7,42)$ en CE.

En la misma línea que nuestros resultados encontramos estudios que respaldan nuestros datos como el de Kohrt et al. (30) y O'toole et al. (31); que fueron de los primeros grupos de investigadores en comparar los VO₂ Max en triatletas, midiendo tanto CE como en tapiz. El estudio de Kohrt et al (30); investigó a 13 triatletas de modalidad ironman. Encontraron que el VO₂Max en CE era significativamente menor cuando se comparaba con los resultados a pie ($57.9 - 5.7$ vs $60.5 - 5.6$ mL/kg/min). También ocurrió así en el estudio de Schabort et al (31) ;(68.9 ± 7.4 vs 65.6 ± 6.3 mL/kg/min) en un estudio realizado con triatletas de nivel nacional.

Otro estudio de 1990; (17), que valora el VO_2 máximo y los umbrales respiratorios (VT) mediante prueba en cinta para la carrera a pie y cicloergómetro para el componente de bici en un grupo de 10 triatletas masculinos profesionales altamente entrenados. Destaca que los triatletas obtuvieron resultados más altos de VO_2max en cinta, siendo los resultados de la carrera a pie ($75.4 \pm 7.3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) y en CE ($70.3 \pm 6.0 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)

Sin embargo, también encontramos estudios que dicen no encontrar diferencias significativas como el de O'toole et al (31) que no encontró diferencias en el VO_2Max entre las pruebas de cicloergómetro y en cinta. En la misma línea de no diferencias entre ambas disciplinas en el VO_2Max están los estudios de Sleivert and Wegner (33), los cuales reportaron resultados similares después de estudiar a 18 triatletas de distintos niveles de entrenamiento. Anecdóticamente solo hay un estudio que revelase niveles superiores de VO_2Max en CE Hue et al (35); ($65.4 \text{ CE} \pm 4.2$ vs $62.1 \pm 6.3 \text{ mL/kg/min}$ tapiz)

Es destacable que un número no desdeñable de estudios (9, 18, 35) indican que los corredores obtienen valores más altos en la prueba a pie mientras que los ciclistas obtienen resultados similares. Por lo tanto, aunque el $\text{VO}_2 \text{Max}$ es específico de la modalidad deportiva practicada, los músculos se adaptan específicamente a la tarea realizada durante un periodo de tiempo determinado resultando en cambios adaptativos que se reflejan en los umbrales respiratorios en ocasiones sin variar el consumo máximo de oxígeno. Apuntan también que la habilidad para el reclutamiento de unidades motoras supone un factor limitante del umbral anaeróbico en ciclismo, además añade que muy probablemente hay más transferencia de correr a ciclismo que al revés. Sin embargo, la información recogida de triatletas que practican ambos deportes es confusa, posiblemente por la historia de entrenamiento interindividual o la carga de trabajo correspondiente a cada deporte en su plan de entrenamiento. Un estudio realizado por Miura et al (36) desmintió que las diferencias en los resultados pudiesen deberse a la habilidad del deportista, apuntando que dichas diferencias eran resultado de adaptaciones y no de nivel de rendimiento.

7.2 VO₂ en VT1 y VT2

Son significativas las diferencias en el consumo de oxígeno en VT2 con una significación estadística de $p=0.017$ obteniendo unos valores en tapiz ($43 \pm 7,73$) mientras que en CE ($36,89 \pm 9,10$) cuando agrupamos en conjunto los datos masculinos y femeninos.

Si aislamos los resultados obtenidos por hombres, En ese caso encontramos diferencias significativas en el consumo máximo de oxígeno con $P=0.028$, siendo los datos promedio de VO₂ obtenidos en tapiz (62.75 ± 8.92) mientras que los obtenidos en CE son (51.25 ± 3.64) pero NO encontramos diferencias significativas entre ambas pruebas ni en el umbral aeróbico VT1 $P=0.75$, ni en el umbral anaeróbico VT2 $P=0.17$ y unos valores (46.8 ± 49) en tapiz y (42.43 ± 5.07) en CE.

Si aislamos los resultados obtenidos por mujeres, no encontramos diferencias entre pruebas con unos valores de VO₂ en VT2 de (28.57 ± 7.21) tapiz y (38.65 ± 3.97) en CE.

El consumo de oxígeno en VT1 y VT2 es comparable entre ambas disciplinas como corroboran los estudios (37,38,39) y Kohrt et al (40) donde tampoco se encontraron diferencias para este valor.

El porcentaje del VO₂Max obtenido en vt2 es aproximadamente el 81,5% del valor máximo en tapiz y 78,7% en CE, dato que se corresponde con los siguientes estudios (19), Albrech, (41) y Kreider, (42) siendo un porcentaje superior al obtenido en el estudio de O'toole, (31). Los estudios previamente mencionados de Hue et al (37) y Miura et al (36) revelaron resultados similares en lo que respecta al %de VO₂ Max en Vt2.

Contrastando estos estudios, hay otros que, en la línea de nuestros resultados globales, si que muestran diferencias en VO₂ vt2 (43,44,45). En términos absolutos nuestro estudio seria comparable al de Bolognesi (35) que no solo demostró diferencias en el VO₂ Max, sino que también la encontró en VT2; expresando perceptualmente el VO₂ en VT2 de CE se correspondía con el

($68.8 \pm 3.7\%$) del VO2 Max y el VO2 VT2 en tapiz se correspondía con el ($73.9 \pm 6.6\%$) del VO2 max en tapiz.

7.3 Frecuencia cardiaca

Los datos obtenidos en nuestro estudio muestran diferencias significativas en la frecuencia cardiaca tanto en VT2 entre carrera a pie y bici ($164 \pm 11,27$ vs $150,7 \pm 15,12$) como en el máximo, entre correr y bici ($180,3 \pm 10,94$ vs $172,9 \pm 10$) con un promedio inferior a 10 (calcular exacto) pulsaciones de diferencia, siendo la variabilidad superior en la prueba de CE. Diferencia que también encontramos en la revisión sistemática Millet, (18), diferencia menor que las 20ppm que alegaba el estudio de Roecker, (46) posiblemente condicionado al entrenamiento y condición física de los participantes.

Sin embargo, un estudio realizado en duatletas, Bolognesi, (35), no encontró diferencias significativas en el pulso entre correr y bici para VT2 (158 ± 9 vs 152 ± 8), tampoco se encontraron en el estudio de HUE, (37), aunque estos estudios fueron revisados posteriormente y se reveló que la diferencia era superior a 7 pulsaciones por minuto.

Coinciden nuestros resultados también con el estudio Medelli, (43), el cual no reportaba encontrar diferencias entre ambas disciplinas en el umbral aeróbico, VT1, pero sí en las frecuencias cardiacas correspondientes al umbral anaeróbico, VT2. El estudio de Medelli, (43), aporta unos datos de frecuencia cardiaca de CE en VT2 vs tapiz = (152.0 ± 8.0 vs 158.0 ± 9.0) mientras que nosotros obtuvimos ($150,7 \pm 15,12$ CE vs $164 \pm 11,27$ tapiz).

En la línea de los resultados que hemos obtenido en el grupo femenino, Basset y Boulay (16), afirmaron que la FC era similar durante los distintos que se les realizó a sus deportistas y concluyeron que los triatletas podrían emplear un único método de testeo a la hora de obtener datos para plantear su entrenamiento a lo largo del año.

Zhou et al (44) mostraba que la frecuencia cardiaca correspondiente a vt2 obtenida en la prueba de tapiz (174.6 ± 4.5) era significativamente superior a la obtenida en CE (166.4 ± 7.6), coincidiendo también con nuestros resultados globales y del grupo masculino.

Por lo que respecta a la frecuencia cardiaca máxima en la que nuestro estudio ha demostrado diferencias significativas, encontramos resultados discrepantes en la revisión Millet, (18) donde afirman que, a pesar de obtener resultados de frecuencia cardiaca máxima entre pruebas similar, las diferencias en la transición anaeróbica Vt2 si son significativas, coincidiendo con nuestros resultados.

7.4 Diferencias entre sexos

Hay muy pocos estudios, que revelen datos comparando el VO2 en VT2, resultante de pruebas de CE y tapiz entre hombres y mujeres. Sleivert y Wenger (33), no encontraron diferencias ni en hombres ni en mujeres triatletas en lo referente al VO2Max. O'toole et al. (31), tampoco encontró diferencias en el VO2 Max. En contraposición Millet y Bentley (47) sí que encontraron diferencias en VT2 cuando valoraron ambas disciplinas y compararon los resultados entre hombres y mujeres.

Nosotros hemos encontrado que, si evaluamos los datos en su conjunto, todos los datos de hombres y mujeres, encontramos diferencias tanto en VO2maximo como en VO2/VT2, con un comportamiento similar de la FC, variando significativamente en su valor Máximo y VT2.

Si aislamos al grupo masculino, encontramos diferencias en el VO2 Max y en la FcMax y FC en VT2, si por el contrario aislamos al grupo femenino no encontramos ninguna diferencia entre pruebas.

7.5 Limitaciones

Los resultados de este estudio en términos globales son difíciles de validar con vistas a dar recomendaciones absolutas puesto que el empleo de datos conjuntos entre hombres y mujeres artefacta los resultados obtenidos.

La situación de pandemia y la escasez de competiciones pueden no haber sido el momento idóneo para la realización del estudio, aunque no faltó la motivación entre los deportistas.

La cercanía entre pruebas, debida al requisito de PCR negativa, aunque siempre superior a 48h puede haber influido en los resultados.

El hecho de que ambas pruebas no necesariamente compartiesen hora, ni día de la semana puede suponer también una limitación.

El Co-pago de las pruebas, y la necesidad de tener una PCR negativa pre-prueba, ha dejado fuera del estudio a atletas de gran nivel.

En resumen, es revelador el hecho de que, aunque el porcentaje de consumo de oxígeno en VT2 con respecto al valor máximo no sufra variaciones significativas, si lo hace el valor de la frecuencia cardiaca a la que se alcanza; coincidiendo con la mayor parte de la bibliografía revisada, es por ello y sumado a la gran trascendencia deportiva que tiene este valor: FC en VT2; que, en vistas a lograr un rendimiento óptimo del atleta masculino recomendamos testear al deportista en cuestión, en ambos deportes para poder ajustar el entrenamiento en el VT2 lo máximo posible, no siendo extrapolables los resultados entre deportes.

Sin embargo, en el grupo de mujeres no hemos encontrado ninguna diferencia entre deportes, por lo que en este caso sí podrían emplearse indistintamente los resultados de una prueba o de la otra para planificar el entrenamiento de la atleta. Aun así, creemos conveniente más investigación en

este campo, para confirmar o desmentir estos resultados obtenidos en el sexo femenino.

Finalmente añadir que, en el caso que se precise realizar un entrenamiento cruzado por debajo del umbral anaeróbico (VT2), los datos obtenidos en cualquiera de las dos pruebas podrían ser empleados para planificar y referenciar las intensidades de entrenamiento de las demás disciplinas, en el grupo masculino.

Recomendamos por tanto testear al deportista en su deporte principal, si solo compite en una disciplina, y testarlo en todas en el caso de competir en más de una.

7.6 Perspectivas de futuro

Es posible que, con una muestra más numerosa, incluyendo del mismo modo hombres y mujeres duatletas se obtengas resultados más aclaratorios, especialmente justificando las diferencias que hemos encontrado entre hombres y mujeres.

Es conveniente insistir en la importancia del % de grasa en aquellos atletas que busquen rendimiento.

8 Conclusiones

1. La frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno (VO_2 en ml/kg/min) son más altos en la prueba en tapiz, tanto en el umbral anaeróbico como en el máximo esfuerzo.

2. Los requerimientos energéticos, expresados por los equivalentes metabólicos (METS) y el cociente Vatios/kg también resultaron ser mayores en la prueba en tapiz. Estas diferencias entre prueba en tapiz y cicloergómetro afectaban a los atletas varones y no a las mujeres.

3. El $\text{VO}_{2\text{max}}$ y la VE_{max} se correlacionaron positivamente en ambas pruebas, tapiz y cicloergómetro, con la DMO (gr/m^2)

4. El $\text{VO}_{2\text{max}}$ y la VE_{max} se correlacionaron negativamente con el % de grasa total, solo en la prueba en tapiz.

9 Agradecimientos

Quería agradecer especialmente a mi tutor por animarme y acompañarme en la realización de este estudio.

También mostrar mi agradecimiento a los técnicos y personal de IMED-UCV por su colaboración y disponibilidad.

Agradecer a la universidad por ofrecer sus instalaciones y patrocinar parcialmente el coste del estudio.

Finalmente, agradecer a todos los deportistas que han colaborado de una forma u otra para sumar este granito arena al conocimiento científico en materia de rendimiento deportivo.

10 Bibliografía

1. Rønnestad BR, Mujika I. Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scand J Med Sci Sports*. 2014;24(4):603-612.
2. Los orígenes del trail running por Javier ullé para carreraspopulares.com 2019 <https://www.carreraspopulares.com/noticia/los-origenes-del-trail-running>
3. La emocionante historia de las carreras por [Internet]. TrailRun. 2020 [cited 11 November 2020]. Available from: https://www.trailrun.es/cultura-trail/la-emocionante-historia-de-las-carreras-por-montana_8116_102.html
4. Scribd. 2020. *Historia Carreras De Montaña En España, Desde 1912. Por Pedro Nicolas, Presidente RSEA Peñalara*. [online] Available at: <<https://es.scribd.com/document/448576304/Historia-Carreras-de-Montana-en-Espana-desde-1912-Por-Pedro-Nicolas-presidente-RSEA-Penalara>> [Accessed 13 November 2020].
5. 2. oxígeno m. WMRA Mountain Running, los pioneros en carreras de montaña (1984-2019) 35 Mundiales; 21 Copas del Mundo - CARRERAS DE MONTAÑA, POR MAYAYO [Internet]. CARRERAS DE MONTAÑA, POR MAYAYO. 2020 [cited 13 November 2020]. Available from: <https://carrerasdemontana.com/2019/07/10/wmra-mountain-running-los-pioneros-en-carreras-de-montana-35-mundiales-21-copas-del-mundo/>
6. Skyrunner Series - ¿Qué es el SkyRunning? [Internet]. Skyrunnerseries.es. 2020 [cited 13 November 2020]. Available from: <http://www.skyrunnerseries.es/es/skyrunner-series-153/aqua-es-el-skyrunningij>
7. Ehrström S, Tartaruga MP, Easthope CS, Brisswalter J, Morin JB, Vercruyssen F. Short Trail Running Race: Beyond the Classic Model for Endurance Running Performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2018 Mar;50(3):580-588.
8. Trail Running Evaluation Tools - ITRA [Internet]. Itra.run. 2020 [cited 21 December 2020]. Available from: <https://itra.run/content/measuring-tools>
9. Antunes-Correa, L., 2020. *Maximal Oxygen Uptake: New And More Accurate Predictive Equation*.

10. Cerezuela-Espejo V, Courel-Ibáñez J, Morán-Navarro R, Martínez-Cava A, Pallarés JG. The Relationship Between Lactate and Ventilatory Thresholds in Runners: Validity and Reliability of Exercise Test Performance Parameters. *Front Physiol.* 2018;9:1320.
11. Stöggl T, Sperlich B. The training intensity distribution among well-trained and elite endurance athletes. *Front. Physiol.* 2015;6:295.
12. Esteve-Lanao J, Foster C, Seiler S, and Lucia A. Impact of training intensity distribution on performance in endurance athletes. *J. Strength Cond.* 2007;21:943–949.
13. Wolpern AE, Burgos DJ, Janot JM, Dalleck LC. Is a threshold-based model a superior method to the relative percent concept for establishing individual exercise intensity? a randomized controlled trial. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2015;7:16.
14. Pallarés JG, Morán-Navarro R, Ortega JF, Fernández-Elías VE, Mora-Rodriguez R. Validity and Reliability of Ventilatory and Blood Lactate Thresholds in Well-Trained Cyclists. *PLoS One.* 2016;11(9):e0163389.
15. Bijker K E, de Groot G, Hollander A P. Differences in leg muscle activity during running and cycling in humans. *Eur J Appl Physiol.* 2002;87:556–561.
16. Basset F, Boulay M. Specificity of treadmill and cycle ergometer tests in triathletes, runners and cyclists. 2020.
17. Schenider D A, [Lacroix](#) K A, [Atkinson](#) G R, [Troped](#) P J, [Pollack](#) J. Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake during cycling and running in triathletes. *Med Sci Sports Exerc.* 1990;22(2):257-64.
18. Millet G P, Vleck V E, Bentley D J. Physiological differences between cycling and running: lessons from triathletes. *Sports Med.* 2009;39(3):179–206.
19. Balducci P, Cléménçon M, Trama R, Blache Y, Hautier C. Performance Factors In A Mountain Ultramarathon. *Int. J. Sports Med.* 2017;38(11).
20. Roalstad Melinda S M S. Physiologic testing of the ultraendurance triathlete. *Med Sci Sports Exerc.* 1989;21(5):200-204.
21. Longstreet Taylor H, Buskirk E, Henschel A. Maximal Oxygen Intake as an Objective Measure of Cardio-Respiratory Performance. *J Appl Physiol.* 1955;8(1):73-80.

22. Roalstad M S. Physiologic testing of the ultraendurance triathlete. *Med Sci Sports Exerc.* 1989;21(5):200-204.
23. Ilarraza-Lomelí H. Prueba de ejercicio con análisis de gases espirados. *Arch Cardiol Mex.* 2012;82(2):160-169.
24. Berry N T, Wideman L, Shields E W, L Battaglini C L. The Effects of a Duathlon Simulation on Ventilatory Threshold and Running Economy. *J Sports Sci Med.* 2016;15(2):247-253.
25. Sangha S, Rogers M, Yogev A, MacMillan A, White M. Physiological Predictors of Performance in a Mountain Ultra-Marathon. *Int. J. Exerc. Sci.* 2015;8(3):819-826.
26. Nana A, Slater G J, Hopkins W G, Burke LM. Effects of Daily Activities on Dual-Energy X-ray Absorptiometry Measurements of Body Composition in Active People. *Med Sci Sport Exerc.* 2012;44(1):180–189.
27. El Hage R, Zakhem E, Theunynck D, Zunquin G, Bedran F, Sebaaly A, Bachour F, Maalouf G. Maximal oxygen consumption and bone mineral density in a group of young Lebanese adults. *J Clin Densitom.* 2014;17(2):320-324.
28. Shete AN, Bute SS, Deshmukh PR. A Study of VO2 Max and Body Fat Percentage in Female Athletes. *J Clin Diagn Res.* 2014;8(12): BC01-3.
29. . Roalstad Melinda S M S. Physiologic testing of the ultraendurance triathlete. *Med Sci Sports Exerc.* 1989;21(5):200-204.
30. Kohrt WM, Morgan DW, Bates B, et al. Physiological responses of triathletes to maximal swimming,cycling,and running. *Med sci Sports Exerc.*1987;19(1):51-55.
31. O'Toole ML, Hiller DB, Crosby LO, et al. The ultraendurance triathlete:a physiologicalprofile.*Med sci sports Exerc.*1987;19(1):45-50.
32. Schabort EJ, Killian SC, St Clair Gibson A, et al. Prediction of triathlonrace time from laboratory testing in national triathletes.*Med sci Sports Exerc.* 2000;32(4):844-849 .
33. Sleivert GG, Wenger HA. Physiological predictors of short-course triathlon performance.*Med sci Sports excerc.*1993;25(7):871-876.
34. Hue O, Le Gallais D, Chollet D, et al. The influence of prior cycling on biomechanical and cardiorespiratory response profiles duringrunningin triathletes.*Eur J Appl PPhysiol occup Physiol.*1998;77(1-2)98-105.

35. Bolognesi M. Ventilatory Threshold and Maximal Oxygen Uptake During Cycling and Running in Duathletes. *Med Sport*. 1997;50:209-216.
36. Miura H, Kitagawa K, Ishiko T. Characteristic feature of oxygen cost at simulated laboratory triathlon test in trained triathletes. *J Sports med PHYS Fitness*. 1999;39(2):101-106.
37. Hue O, Le Gallais D, Chollet D, Préfaut C. Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake in present triathletes. *Can J Appl Physiol*. 2000;25(2):102-113.
38. Mutton DL, Loy SF, Rogers DM, Holland GJ, Vincent WJ, Heng M. Effect of run vs combined cycle/run training on VO₂max and running performance. *Med Sci Sports Exerc*. 1993;25(12):1393-1397.
39. Foster C, Hector LL, Welsh R, Schrager M, Green MA, Snyder AC. Effects of specific versus cross-training on running performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1995;70(4):367-372.
40. Kohrt WM, O'Connor JS, Skinner JS. Longitudinal assessment of responses by triathletes to swimming, cycling, and running. *Med SCI Sports Exerc*. 1989;21(5):569-575.
41. Albrecht T, Foster V, Dickinson A, Debever J. Triathlon parameters measured during bicycle, swim bench and treadmill testing. *Med Sci Sports Exerc*. 1989;18(suppl):s86.
42. Kreider R. ventilatory threshold in swimming, cycling and running in triathletes. *Med Sci Sports Exerc*. 1988;9:147-148.
43. Medelli J, Maingourd Y, Bouferrache B, et al. Maximal oxygen uptake and aerobic-anaerobic transition on treadmill and bicycle in triathletes. *Jpn J Physiol*. 1993;43(3):347-360.
44. Zhou S, Robson SJ, King MJ, et al. Correlations between short-course triathlon performance and physiological variables determined in laboratory cycle and treadmill tests. *J Sports Med Phys Fitness*. 1997;37(2):122-30.
45. Schneider DA, Pollack J. Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake during cycling and running in female triathletes. *Int J Sports Med* 1991;12(4):379-383.
46. Roecker K, Striegel H, Dickhuth HH. Heart-rate recommendations: transfer between running and cycling exercise? *Int J Sports Med*.

2003;24(3):173-178.

47. Millet GP, Bentley DJ. The physiological responses to running after cycling in elite junior and senior triathletes. *Int J Sports Med.* 2004;25(3): 191-197.

Estudio comparativo de la función cardiorrespiratoria mediante cicloergometría y ergometría en tapiz, en corredores de montaña

autor
/Borja Gallardo Peydro
director
/Carlos Barrios Pitarque

Objetivos

Evaluar la tolerancia cardiorrespiratoria al esfuerzo máximo en corredores de montaña mediante dos protocolos diferentes: uno en tapiz rodante y otro en cicloergómetro, comparar los resultados de ambas pruebas para establecer diferencias y determinar cuál de las dos pruebas refleja mejor la condición física de los deportistas. Finalmente, se pretende analizar si la composición corporal, en concreto niveles de adiposidad y densidad mineral ósea, tienen alguna influencia en la respuesta cardiorrespiratoria al esfuerzo máximo.

Hipótesis

Es probable que la evaluación de la condición física en concreto de la capacidad cardiorrespiratoria en estos deportistas haya de realizarse combinando dos pruebas de tolerancia máxima diferentes, adaptándolas a la carrera (prueba en tapiz rodante) y al ciclismo (prueba en cicloergómetro), es probable que los valores en el umbral aeróbico no diferirán entre las pruebas, mientras que si lo harán parámetros en el umbral anaeróbico y en esfuerzo máximo.

Material y métodos

Estudio piloto transversal que incluye un total de 10 deportistas no profesionales, 6 hombres y 4 mujeres. La edad media de los participantes fue de $33,3 \pm 8,2$ años, y el IMC medio de $21,3 \pm 2,0$. La composición corporal se determinó mediante un escáner DXA de cuerpo completo (Horizon™ DXA System, Hologic Inc.). Para la prueba de esfuerzo en tapiz, se empleó el protocolo de Bruce escalonado cada tres minutos con pendiente progresiva que rápidamente alcanzaba el 16% desde el tercer escalón, intentando de este modo asemejarse lo máximo posible a la carrera de montaña. En la prueba de cicloergómetro se utilizó un protocolo en rampa empezando con 50 vatios y un incremento de 20 w/minuto.

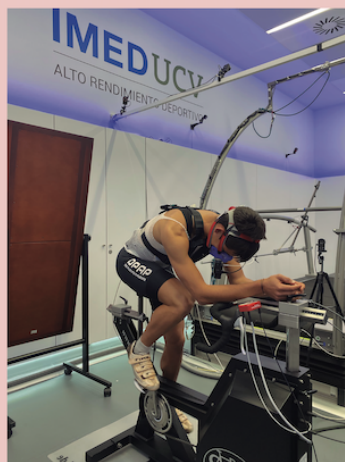
Resultados

En el estudio de composición corporal, el porcentaje de grasa fue de $21,8 \pm 6$, (hombres: $10,9 \pm 4,3$; mujeres $25,9 \pm 6,9$). Existía una diferencia significativa en la frecuencia cardiaca en máximo esfuerzo ($180,3 \pm 10,9$ en tapiz vs $172,9 \pm 10$ en CE; $p < 0,05$). También existían diferencias estadísticamente significativas en el consumo de oxígeno tanto en el umbral anaeróbico (VT2) ($p < 0,05$) como en esfuerzo máximo ($p < 0,01$). Los consumos de oxígeno fueron siempre superiores en la prueba en tapiz. Los hombres presentaron consumos de oxígeno más elevados en ambos umbrales, pero solo existían diferencias significativas en el máximo esfuerzo ($62,7 \pm 8,9$ en hombres vs $46,9 \pm 3,8$ en mujeres; $p < 0,05$). El volumen espirado máximo, VE Max, fue también superior en hombres que en mujeres ($151,2 \pm 36,0$ vs $96,5 \pm 20,9$; $p < 0,05$). A nivel energético, la prueba con tapiz requirió de mayor número de equivalente metabólicos (METS) que los que demandó la prueba en CE ($16,1 \pm 3$ vs $13,4 \pm 2,1$; $p < 0,01$). El VO2max y la VEmax se correlacionaron positivamente en ambas pruebas, cinta y cicloergómetro, con la DMO. El VO2max y la VEmax se correlacionaron negativamente con el % de grasa total, solo en la prueba en cinta.



Conclusiones

La respuesta cardiorrespiratoria al esfuerzo máximo fue diferente en cada una de las pruebas. Así, La frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno (VO2 en ml/kg/min) son más altos en la prueba en tapiz, tanto en el umbral anaeróbico como en el máximo esfuerzo. Los requerimientos energéticos, expresados por los equivalentes metabólicos (METS) y el cociente Váticos/kg también resultaron ser mayores en la prueba en cinta. Estas diferencias entre prueba en cinta y cicloergómetro afectaban a los atletas varones y no a las mujeres. El componente grasa y la densidad mineral ósea estaban relacionadas con la respuesta cardiorrespiratoria en términos de consumo de oxígeno y ventilación máxima.



Edad (años)				
Peso (kg)	Muestra total	Varones	Mujeres	Mann-Whitney
Talla (cm)	n = 10	n = 6	n = 4	Z (p)
IMC				
	33,2 ± 8,2	32,3 ± 8,5	34,5 ± 8,8	-0,429 (0,668)
	62,9 ± 7,7	66,3 ± 8,3	57,8 ± 2,5	-1,711 (0,087)
	171,8 ± 5,0	173,7 ± 3,8	168,9 ± 5,7	-1,497 (0,134)
	21,3 ± 2,0	21,9 ± 2,3	20,3 ± 0,9	-1,066 (0,352)

		Prueba en Tapiz		Prueba en Cicloergómetro		
		VO2max	VO2max relmax	VO2max	VO2maxCE	VE CE Max
Masa Grasa Total	r	-0,600	-0,467	-0,732	-0,661	-0,333
	Sig.	0,067	0,174	0,033	0,038	0,347
% de grasa Total	r	-0,818	-0,782	-0,879	-0,721	-0,588
	Sig.	0,004	0,008	0,001	0,019	0,074
Tigres tronco/lugares, en pie	r	,650	,541	,578	,468	,602
	Sig.	0,042	0,106	0,080	0,172	0,066
DMO Total (g/cm²)	r	,697	,794	,830	,661	,855
	Sig.	0,025	0,006	0,003	0,038	0,002
T Score	r	0,422	0,578	,651	0,217	0,494
	Sig.	0,298	0,133	0,081	0,606	0,213
						-0,241
						0,565

** La correlación es significativa en el nivel 0,01

* La correlación es significativa en el nivel 0,05

